

Caracterización de compuestos orgánicos volátiles, provenientes de seis
estaciones de servicio de combustibles de la ciudad de Barranquilla,
Colombia.

Esleider David Rodríguez de León

Harol Manuel López Rodríguez



Corporación Universidad de la Costa

Departamento de Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia 2018

Caracterización de compuestos orgánicos volátiles, provenientes de seis
estaciones de servicio de combustibles de la ciudad de Barranquilla,
Colombia.

Esleider David Rodríguez de León

Harol Manuel López Rodríguez

Trabajo de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Ambiental

Asesor: Ph.D Ismael Schneider

Co-asesor: MSc. Margarita Del Castillo Ramírez

Universidad de la Costa

Departamento de Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia 2018

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme afrontar cada reto cada obstáculo que se me presentó durante el recorrido de mi formación profesional.

A mis padres por ser los pilares más importantes y por demostrarme siempre su cariño y su apoyo incondicional.

A mi tía Yamarlis, la cual quiero y estoy muy agradecido por darme su respaldo cuando más lo necesitaba.

A mis cotutores Ismael - Margarita y a mi compañero de trabajo Harold porque sin este equipo que formamos, no hubiéramos alcanzado esta meta.

Esleider David Rodríguez De León.

Dedicatoria

A Dios, por la vida y su misericordia.

A mis padres, quienes son los constructores de los que soy, por su entrega infinita e incondicional por buscar en mí una mejor persona y enseñarme a nunca desistir. Los adoro a los dos, siempre vivirán en mi corazón.

A Enilse Alfonso por siempre brindarme su apoyo y toda la hospitalidad durante mi vida universitaria, gracias primita, te quiero.

A mi hija Alana Sofía, mi mayor motivación. Siempre trataré de ser tu ejemplo a seguir, te amo mi pochito.

A mi compañero Esleider Rodríguez de León por su capacidad para proporcionar ideas en nuestro trabajo. Fue un gusto trabajar con usted compañero.

Harol Manuel López Rodríguez

Agradecimientos

A Dios por estar a nuestro lado y guiar cada uno de nuestros pasos.

A nuestras familias, por el apoyo y acompañamiento incondicional durante el transcurso de la elaboración del presente proyecto y estudio.

A Ph.D Ismael Schneider y Mg (c). Margarita Del Castillo Ramírez, asesor y co-asesora de nuestro proyecto de grado, por brindarnos su apoyo, tiempo y conocimientos para lograr nuestra meta.

A la laboratorista Erika Arbeláez, por su colaboración y tiempo, sin ella gran parte de esta investigación no hubiese sido posible.

A la Universidad de la Costa por darnos la oportunidad de ofrecernos una educación de calidad, para ser formados como profesionales íntegros y tener una participación activa en el trabajo de nuestra área y en la toma de decisiones sociales.

A nuestros amigos y compañeros de estudios y personales, por brindarnos su apoyo y ánimo de seguir insistiendo por nuestra meta.

Resumen

En la presente investigación se determinó las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COV's), especialmente los BTEX (benceno, tolueno, xileno y etilbenceno), en seis estaciones de servicio de combustibles (EDS) de la ciudad de Barranquilla. Además, se identificó cuál proceso dentro de las EDS contribuye a la mayor emisión de BTEX. Para la caracterización de BTEX, se tomaron datos en cada EDS mediante el equipo de medición de COV's, HAL-HVX501 durante diferentes días, tanto en la mañana como en la tarde, con una duración de 30 minutos para cada toma de muestras. Asimismo, en simultáneo, se registraron variables meteorológicas en cada EDS mediante el medidor Kestrel 4500. Las concentraciones de BTEX obtenidas presentaron variaciones en cada EDS evaluada, donde la EDS 2 presentó las mayores concentraciones de BTEX, mientras que la EDS 6 tuvo las concentraciones más bajas. Estos resultados se comparan con los valores establecidos por organizaciones y normativas internacionales, en donde estas concentraciones sobrepasaron los límites y pueden tener un efecto en la salud de los trabajadores expuestos. Adicionalmente, se identificó que durante el proceso de tanqueo se genera mayor emisión de BTEX, entendiéndose, que, a mayor número de vehículos surtidos, mayor será la emisión de BTEX en el aire. Por último, se observó que la influencia de los parámetros meteorológicos no fue significativa, debido a que la toma de muestra se realizó muy cercana a la fuente y de esta manera no tuvo una influencia en el comportamiento de los contaminantes.

Palabras Clave: BTEX, Caracterización, variables meteorológicas, proceso de llenado, riesgo

Abstract

In the present investigation, the concentrations of volatile organic compounds (VOCs), especially BTEX (benzene, toluene, xylene and ethylbenzene), were determined in six fuel service stations (EDS) of the city of Barranquilla. In addition, it was identified which process within the EDS contributes to the highest emission of BTEX. For the characterization of BTEX, data were taken in each EDS by means of the VOC measurement equipment, HAL-HVX501 during different days, both in the morning and in the afternoon, with a duration of 30 minutes for each sampling. Simultaneously, meteorological variables were recorded in each EDS using the Kestrel 4500 meter. The concentrations of BTEX obtained showed variations in each EDS evaluated, where the EDS 2 had the highest concentrations of BTEX, while the EDS 6 had the lowest concentrations. These results are compared with the values established by international organizations and regulations, where these concentrations exceeded the limits and can have an effect on the health of exposed workers. Additionally, it was identified that during the tanking process, greater BTEX emission is generated, understanding that, the greater the number of vehicles supplied, the greater the BTEX emission in the air. Finally, it was observed that the influence of the meteorological parameters was not significant, because the sample was taken very close to the source and thus had no influence on the behavior of the contaminants.

Keywords: BTEX, Characterization, meteorological variables, filling process, risk

Contenido

1. Introducción	17
2. Planteamiento del problema	19
2. Justificación del problema	24
4. Objetivos	26
4.1 Objetivo general	26
4.2 Objetivo específico.....	26
5. Estado del arte.....	27
6. Marco teórico	31
6.1 Compuestos orgánicos volátiles	31
6.1.2 Clasificación de los COV's	31
6.1.3 Fuentes.....	32
6.1.4 Efectos directos de los COV's sobre la salud humana	34
6.2 Generalidades de los BTEX.....	34
6.2.1 Benceno	37
6.2.2 Tolueno.....	40
6.2.3 Xileno.....	43
6.2.4 Etilbenceno.....	45
7. Metodología	48
7.1 Área de estudio	48
7.2 Parámetros meteorológicos	51
7.3 Evaluación de las concentraciones de COV's.....	52
7.3.1 Toma de datos.....	52
7.3.4 Análisis de los datos.	54
7.3.4.1 Comportamiento de los parámetros meteorológicos.....	54
7.3.4.2 Determinación de los COV's	54
7.3.4.3 Tratamiento de variables.....	55
8. Análisis de los Resultados	57
9. Conclusión	80
10. Recomendaciones	82
11. Referencias.....	83

Lista de figuras y tablas

Figuras.

Figura 1. Consumo regionales de Combustible.	21
Figura 2. COV's emitidos en una EDS. Tomado de "Evaluación de Sistemas de Recuperación de Vapores en Estaciones de Servicio", (Petroquimex, 2016).	33
Figura 3. Principales fuentes de BTEX. Se evidencia las distintas actividades y fuentes que liberan BTEX a la atmosfera. Fuente "Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar", (Lacasaña, et al., 2008).	35
Figura 4. Molécula del benceno.	37
Figura 5. Molécula de tolueno.	40
Figura 6. Molécula de xileno.	43
Figura 7. Molécula del etilbenceno.	45
Figura 8. Área de estudio. Adatado de Google Earth (2016).	51
Figura 9. Termo-anemómetro portátil modelo Bluetooth Kestrel 4500.	52
Figura 10. Medidor portátil de compuestos orgánicos volátiles (COV's), modelo HAL-HVX501.	53
Figura 11. Toma de muestras de los COVs en una EDS.	54
Figura 12. Mapa de concentración de Isobutileno.	63
Figura 13. Mapa de concentración de Benceno.	63
Figura 14. Mapa de concentración de Tolueno.	64
Figura 15. Mapa de concentración de Xileno y Etilbenceno.	65
Figura 17. Concentración promedio de los COV's en las seis EDS.	66
Figura 18. Rosa de los vientos de la EDS 1, tomado de WRPLOT Vienw 2018.	69

Figura 19. Rosa de los vientos de la EDS 2, tomado de WRPLOT View 2018.	70
Figura 20. Rosa de los vientos para la EDS 3, tomada WRPLOT View 2018.	70
Figura 21. Rosa de los vientos para la EDS 4, tomada WRPLOT View 2018.	71
Figura 22. Rosa de los vientos para la EDS 5, tomada WRPLOT View 2018.	72
Figura 23. Rosa de los vientos para la EDS 6, tomada WRPLOT View 2018.	72

Tablas.

Tabla 1. Regulación del benceno en el ambiente y para salud ocupacional.	39
Tabla 2. Regulación del tolueno en el ambiente y ocupacional.	42
Tabla 3. Regulación del Xileno en el ambiente y para salud ocupacional.	44
Tabla 4. Regulación del etilbenceno en el ambiente y ocupacional.	46
Tabla 5. Ubicación de las EDS evaluadas en el presente estudio.	48
Tabla 6. Factor de conversión para cada gas.	55
Tabla 7. Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 1.	57
Tabla 8. Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 2.	58
Tabla 9. Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 3.	59
Tabla 10. Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 4.	59
Tabla 11. Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 5.	60

Tabla 12. Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 6.	60
Tabla 13. Categorización de concentración de COV's en las EDS.	62
Tabla 14. Promedios de las concentraciones de los COV's medidos en el presente estudio.	62
Tabla 15 Correlación de Spearman de las variables monitoreadas.....	67
Tabla 16. Comparación de las concentraciones de los BTEX evaluados en el presente estudio con otras investigaciones	73
Tabla 17. Comparación de los límites permisibles por organizaciones internacionales y normas nacionales con las concentraciones de los BTEX evaluados en el presente estudio.	76

Glosario

ACGIH: *Association Advancing Occupational and Environmental Health* - Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, es la Asociación que promueve la Salud Ocupacional y Ambiental de Estados Unidos. Dentro de sus objetivos es mejorar la protección de los trabajadores al proporcionar información científica oportuna y objetiva a los profesionales de la salud ocupacional y ambiental.

Absorción: Proceso de incorporación de una sustancia, la cual puede ser tóxica y que atraviesa membranas y capas de células, donde puede entrar al torrente sanguíneo y posteriormente ser transportado hacia otros órganos de la persona.

BTEX: Por su acrónimo que significa benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. Donde estos compuestos forman parte de los compuestos orgánicos volátiles (COV's) que se encuentran en los derivados del petróleo, tales como la gasolina. Estos compuestos producen efectos nocivos sobre el sistema nervioso central.

COV's: Los compuestos orgánicos volátiles (COV's) son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal y que tiene la característica de ser muy volátiles a dicha temperatura.

Combustible: el combustible es un material que, por sus propiedades, arde con facilidad y cuando se oxida de forma violenta tiende a tener una liberación con un desprendimiento de calor. Los combustibles más usados son: La gasolina (también conocida como nafta), el gasóleo o gasoil (también conocido como Diésel), el gas natural, la madera y el carbón.

Concentración: en términos generales concentración se refiere a la proporción de una sustancia, compuesto o material contenida en un medio dado.

Carcinógeno: Es un agente físico, químico o biológico que es capaz de producir cáncer al entrar en contacto a los tejidos vivos. En términos concretos, un carcinógeno es aquella sustancia que puede producir o inducir el cáncer.

Cáncer: El cáncer o tumor maligno es un proceso de crecimiento y diseminación incontrolados de células. Donde este puede destruir los tejidos orgánicos circundantes. El cáncer puede aparecer prácticamente en cualquier lugar del cuerpo.

DFG: *Deutsche Forschungsgemeinschaft* es la Fundación Alemana de Investigación Científica. Constituida por la Sociedad Alemana de Investigación, la cual es una importante organización alemana que patrocina la investigación, la más grande de Europa.

DHHS: *Department of Health and Human Services* - Departamento de Salud y Servicios Humanos. Este es el principal organismo federal de protección de la salud de los estadounidenses y de prestación de servicios humanos esenciales.

EDS: Estación de servicio, es un establecimiento destinado al almacenamiento y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo para vehículos automotores.

Efecto adverso: Reacción nociva o experiencia indeseable que se presenta por la exposición, administración o uso de un producto determinado.

Efecto tóxico: Es el efecto producido por agentes tóxicos sobre un organismo, desviando su funcionamiento normal y que se manifiesta por cambios biológicos.

Exposición: exhibición o contacto con fuentes de agentes químicos, físicos, biológicos, etc., donde se puede presentar una transmisión del agente al organismo, población o comunidad expuesta, y por consiguiente puede acarrear un efecto nocivo en estos.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Esta es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y el medio ambiente: aire, agua y suelo.

Fuente de emisión: Es la fuente donde la sustancia contaminante surge y pueden ser: de origen natural o antropogénica. En el caso de los COV's, estos se liberan durante la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural y también desde disolventes, pinturas y otros productos utilizados en procesos industriales.

HAP: *Hazardous Air pollutants Pollutants* hacen referencia a los Agentes Contaminantes Peligrosos.

Hidrocarburos Aromáticos: los hidrocarburos aromáticos tienden a tener un fuerte aroma, la cual es una de sus características. Además, se consideran compuestos derivados del benceno, pues la estructura cíclica del benceno se encuentra presente en todos los compuestos aromáticos. Son muy volátiles, debido a que algunos tienen una alta presión de vapor y se volatilizan rápidamente en el aire.

IARC: *International Agency for Research on Cancer* - Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. Este es un órgano intergubernamental que forma parte de la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas.

INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Este es un órgano científico técnico que tiene como misión el análisis y estudio de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de estas.

Límite máximo permisible: Valor o máxima concentración que no deberá excederse en la exposición a una sustancia.

Leucemia: la leucemia es una enfermedad maligna de la médula ósea que se caracteriza por el exceso descontrolado de leucocitos o glóbulos blancos.

MAP: *Major Air Pollutants* son los Principales Agentes Contaminantes.

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Es uno de los ministerios actuales del poder ejecutivo de Colombia. Su función, normas y directrices en materia de ambiente, biodiversidad, recursos marinos y recursos hídricos.

NIOSH: *National Institute for Occupational Safety and Health* es el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional es una agencia federal de los Estados Unidos que se encarga de llevar a cabo investigaciones y recomendaciones para la prevención de enfermedades y lesiones vinculadas con el trabajo.

ppm: Partes por millón (ppm), es una unidad de medida que representa la cantidad de la concentración de una sustancia. Es decir, es la cantidad de unidades de una determinada sustancia, agente o compuesto que hay por cada millón de unidades del conjunto. Asimismo, permite determinar un rango de tolerancia.

Riesgo: es la probabilidad que representa la magnitud de los daños que pueden presentarse frente a un evento negativo o situación peligrosa.

SNC: Sistema Nervioso Central, está constituido dentro del cráneo y del canal raquídeo de la columna vertebral. Donde este es el encargado de procesar los estímulos que proceden del exterior, además de enviar los impulsos nerviosos los músculos y los nervios.

UPME: Unidad De Planeación Minero Energética.

Volátil: Sustancia que cambia con facilidad al entrar en contacto con el aire, es decir, debido a su característica puede predisponerse para convertirse en vapor, modificando su estado.

Vía de exposición: Medio por donde un agente o sustancia tóxica penetra a un organismo sea a través por la ingestión, inhalación y cutánea o tópica.

Vapor de gasolina: es el estado gaseoso de un combustible y que se produce en temperaturas próximas al punto de ebullición.

OMS: Organización Mundial De La Salud. Es un organismo especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial.

KBDC: hace referencia a miles de barriles por día calendario la cual es una unidad de medida de consumo de combustible

MPCD: hace referencia millones de pies cúbicos por día calendario la cual es una unidad de medida de consumo de combustible

Tj: tiene como significado terjulo y es utilizado en el texto para indicar el consumo de los diferentes combustibles como son la gasolina, el diésel y GNV (Gas Natural Vehicular).

1. Introducción

El aumento de la industrialización global en el último medio siglo ha desencadenado un rápido aumento de la población urbana y la formación de ciudades con alta población (Ngoc y Anh, 2013). Actualmente, la mayoría de las ciudades de los países en desarrollo presentan una problemática por la contaminación del aire, especialmente por contaminantes como el material particulado y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) (Ngoc y Anh, 2013). Al mismo tiempo, las refinerías de petróleo, las plantas petroquímicas, la evaporación de la gasolina y la emisión de los vehículos son las principales fuentes de compuestos orgánicos volátiles (COV's) en el medio ambiente (Heibati et al., 2017). Por su parte, los países de rápido desarrollo de América Latina también presentan grandes problemas de calidad del aire relacionados con el crecimiento de estas industrias, debido a la alta demanda de vehículos de motor y por la ubicación de estas industrias en áreas urbanas (Gee y Sollars, 1998). Si bien es cierto, los hidrocarburos aromáticos, especialmente los BTEX, presentes en productos derivados del petróleo son extremadamente tóxicos y, a menudo, generan consecuencias al medio ambiente debido a las descargas industriales y derrames de combustibles (Goes, 2008). Sin embargo, para analizar esta problemática es necesario mencionar los principales efectos que estos contaminantes pueden generar. Se ha demostrado que son activos en la formación de compuestos fotoquímicos, en especial en la formación del ozono troposférico, así como pueden ser responsables por fenómenos como el smog. De igual manera, los BTEX han sido reconocidos como neurotóxicos, y producen síntomas como el cansancio, confusión, debilidad, pérdida de la memoria y náuseas (Liu et al., 2008). Además, el benceno se encuentra clasificado como un agente que puede producir cáncer y otras enfermedades. Según, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), se estima que 9,8 millones de trabajadores en América

Latina han estado expuestos a solventes orgánicos como los COV's en los últimos 5 años (Vargas y Marrugo, 2014). Al mismo tiempo, de acuerdo con los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2004, en Colombia ocurrieron 5,7 muertes por cada 100.000 habitantes, respectivamente, atribuibles a la contaminación del aire en interiores y exteriores (Vargas y Marrugo, 2014).

Bajo esta situación, la investigación de esta problemática, se realizó por el interés de conocer las concentraciones o datos de estos compuestos, especialmente los BTEX en seis EDS de la ciudad de Barranquilla, con referencia de que en Colombia son pocos los estudios que dan razón sobre la presencia y concentración de BTEX en el aire. El presente estudio sirve como eje principal para profundizar sobre la emisión y contaminación de BTEX en estaciones de servicio en zonas urbanas, y la relación de las implicaciones que tienen estos compuestos en la salud de las personas expuestas. El trabajo se realizó mediante una metodología propia, utilizando como equipo de medición el analizador de gas (HAL-HVX501), el cual tiene la capacidad de registrar valores o datos indicativos en tiempos reales de manera automática. Asimismo, se usó el Kestrel 4500 para conocer las variables meteorológicas de cada EDS estudiadas.

Por consiguiente, se determinaron las concentraciones de los COVs (benceno, tolueno, xileno y etilbenceno) en EDS de Barranquilla, asimismo se identificaron los procesos que contribuyen la emisión de compuestos orgánicos volátiles y se compararon las concentraciones observadas con otros estudios y normativas internacionales, y así, se analizaron de los posibles riesgos a la salud de la población expuesta a los BTEX.

2. Planteamiento del problema

Las actividades humanas, cada día buscan mayor desarrollo mejorando su tecnología y engrandeciendo sus industrias, para de esta manera aumentar el poder adquisitivo y estabilidad económica. Estos avances han traído como consecuencia afectaciones directamente el medio ambiente. Tal es el caso, que la contaminación atmosférica cada vez es más crítica en los centros urbanos de todo el mundo, principalmente debido a las actividades industriales y el tráfico vehicular fuentes que contribuyen a esta problemática generando un deterioro en la calidad de vida y poniendo en riesgo la salud de su población (Gallego, 2014).

Dentro de ese marco, los países de rápido desarrollo de América Latina y Asia enfrentan actualmente grandes problemas relacionados con el crecimiento de industrias, a menudo dentro de áreas urbanas y vehículos de motor (Gee y Sollars, 1998).

Las estaciones de servicio de combustibles (EDS) hacen parte de un sector importante en el progreso de la sociedad, sin embargo, si no se cuenta con condiciones óptimas de operación de los sistemas de control y monitoreo de fugas, pisos, redes, trampas de grasas, etc., pueden convertirse en fuentes de contaminación sobre las matrices: agua, aire y suelo (SDA, 2008).

Por otro lado, los contaminantes convencionales (criterios como CO, NO₂, SO₂, PM, O₃) en el ambiente se miden de forma rutinaria en las redes de vigilancia de la calidad del aire y existen bases de datos muy extensas y, en general, de buena calidad, pero para ciertos contaminantes atmosféricos no convencionales como los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), los datos suelen ser poco consistentes y poco extensivos (en el espacio y en el tiempo). La disponibilidad de los datos de concentración ambiente de COV's es esencial para cualquier evaluación de riesgo, ya que en última instancia, la evaluación de los riesgos para la salud humana derivados de la contaminación atmosférica requiere información sobre los niveles de exposición de la

población a los diferentes contaminantes, el número de personas expuestas (incluyendo grupos de riesgo) y el conocimiento de las relaciones cuantitativas entre exposición y efectos en la salud (Gómez, 2005).

Del mismo modo, en presencia de contaminantes primarios como los óxidos de nitrógeno y con intensa luz solar, los COV's tienen la capacidad de reaccionar con estos y contribuir en la formación del ozono troposférico, generando un efecto fitotóxico en los cultivos y vegetación, además, de sus impactos a la salud humana (Sánchez y Alcántara, 2007). Por tanto, los COV's no sólo presentan problemas de acción directa, sino también como contaminantes secundarios, siendo precursores de agentes o sustancias oxidantes.

Las estaciones de servicio de combustible se consideran como fuentes de área, donde las emisiones que se generan en éstas se producen durante la descarga del combustible desde los carrotaques que lo transportan a los tanques de almacenamiento subterráneos; por la expansión y compresión del líquido debido a los cambios de temperatura y presión durante el día y, durante el abastecimiento de los vehículos (Evequoz et al., 2000).

Es fundamental reconocer, que bajo el modelo de desarrollo que poseen los países actualmente, el consumo de combustibles automotrices (gasolinas y combustibles diésel) aumenta los riesgos ambientales asociados a la contaminación del aire, así como suelos y mantos acuíferos y sus impactos que se han visto en incremento en los últimos años, según el estudio “Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y Gas Natural Vehicular (GNV) en Colombia” de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2012) el consumo de combustible para el sector transporte a 2011 fue: Diésel (90 Miles de barriles por día calendario KBDC), gasolina (80 KBDC), GNV (70-80 Millones de pies cúbicos por día calendario MPCD), demostrando el alto consumo de estos combustibles en el país, sumado a esto y según el estudio

sobre la “Proyección De Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia” del Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) junto con UPME, se estableció que la tasa de crecimiento anual promedio desde 2012-2030, será gasolina (3,2%), ACPM (2,9%) y GNV (1,9%), lo que indica que puede existir un riesgo ambiental asociado a la demanda y venta de estos combustibles por EDS a nivel nacional. En Barranquilla, los datos de demanda o consumo de energía en su área metropolitana a 2014 fue: Diesel 5,047 Terjulio (Tj), gasolina (6,468 Tj) y GNV (10,800 Tj) (Ver figura 1).

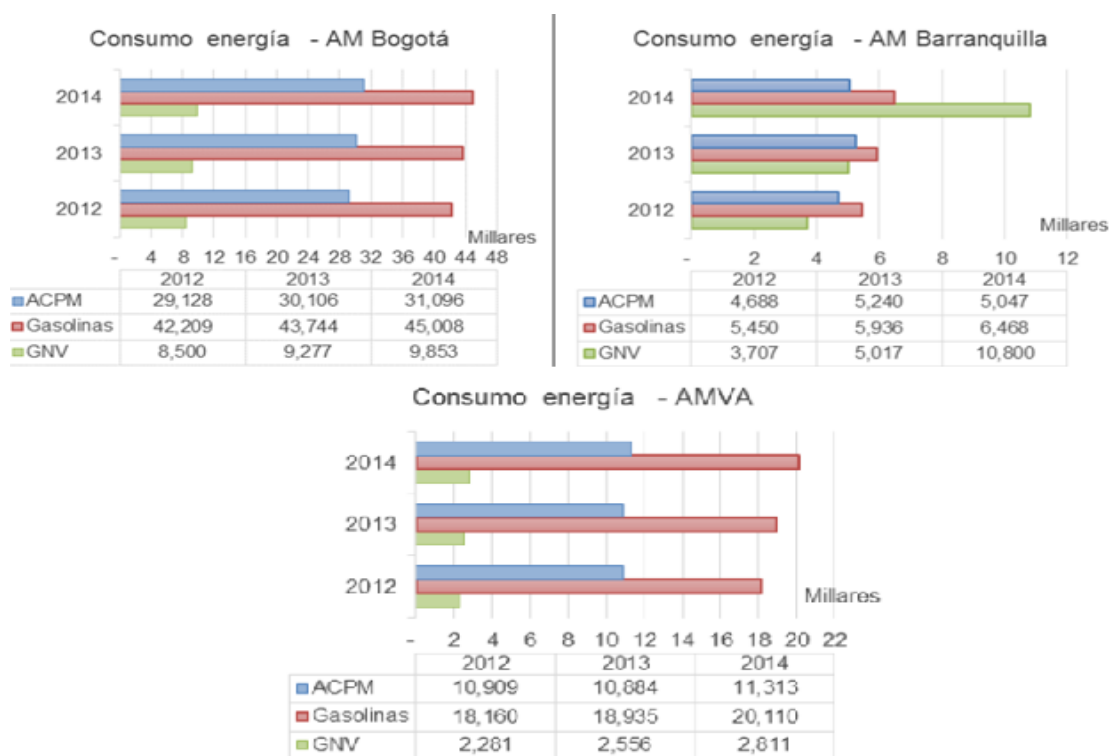


Figura 1. Consumo regionales de Combustible.

Fuente: “Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y gas natural vehicular (GNV) en Colombia” de la Unidad De Planeación Minero Energética (UPME, 2012).

En la Figura 1 se manifiesta el consumo de los diferentes combustibles en ciudades como Bogotá, Barranquilla y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá durante los años 2012, 2013 y 2014.

De igual manera, el expendio de combustibles líquidos genera emisiones evaporativas como COV's, residuos líquidos, residuos sólidos (ordinarios y peligrosos), olores, y ruido. Las emisiones atmosféricas por la evaporación de hidrocarburos, principalmente compuestos orgánicos volátiles (COV's), se producen en la estación de servicio (EDS) durante el llenado y respiración de los tanques subterráneos de almacenamiento de combustible y los tanques de los automóviles por pérdidas durante el llenado (CONAMA, 1999).

Por esta razón es necesario realizar actividades o estudios que ayuden a conocer el comportamiento y concentración de los compuestos orgánicos volátiles en estaciones de servicios e identificar los posibles impactos que estos generan sobre el entorno. Así como, realizar un análisis a partir del conocimiento de las normas vigentes relacionada con los COV's, como la resolución nacional 2254 de 2017 y organizaciones internacionales como el Instituto Nacional de Salud Ocupacional y de Seguridad [NIOSH], la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Directiva Europea de Calidad del Aire, la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIH], y poder establecer los posibles riesgos a la salud de los empleados expuestos, que tienen la función de expender el combustible a los vehículos en las estaciones de servicio. Es importante resaltar que en Colombia se desconoce metodologías o estudios de COV's en las EDS. El presente proyecto se realiza bajo metodología propia utilizando como instrumento de medida el (HAL-HVX501 medidor/ monitor de gas portátil para detección de COV's). Este instrumento tiene la capacidad de monitorear múltiples compuestos, pero en la presente investigación solo se tendrá en cuenta las concentraciones medidas de los siguientes COV's: benceno, tolueno, xileno, etil-benceno, conocidos comúnmente por su acrónimo BTEX.

Por esto se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál es la concentración de COV's en seis estaciones de servicio de Barranquilla y cuáles pueden ser los riesgos asociados a la salud de los trabajadores expuestos?

2. Justificación del problema

A pesar de los avances en la tecnología logrados por el hombre, los riesgos a la exposición a químicos siguen siendo uno de los factores de riesgo de mayor relevancia en los diferentes procesos que se llevan a cabo en las estaciones de servicio. Dentro de las actividades u operaciones que se desarrollan en las EDS, los compuestos orgánicos volátiles (COV's) constituyen el grupo de contaminantes más destacados por esta actividad, teniendo una contribución directa a la contaminación de la atmósfera. Además, sus propiedades generales, como su carácter no iónico, su bajo peso molecular y volatilidad, posibilita la absorción por todas las vías de exposición, tales como: la respiración, ingestión y cutánea, afectando directamente a la salud de los trabajadores expuestos e incluso a pobladores vecinos.

Las EDS pueden almacenar y distribuir diferentes tipos de combustibles líquidos derivados del petróleo, siendo la gasolina uno de los principales combustibles que más se distribuyen en las EDS, esta se compone de muchas sustancias, donde cerca del 25 a 30 % está constituida de compuestos aromáticos, especialmente los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) (García et al., 2015). De hecho, dentro de estos compuestos el benceno es el más peligroso por ser un agente tóxico que produce cáncer (García et al., 2014). De igual manera, se ha demostrado que a bajas concentraciones de COV's las personas expuestas pueden presentar trastornos neurocomportamentales. Dicha exposición provoca afectaciones más críticas a la salud humana, como alteraciones neurotóxicas que pueden generar cambios de la función psicológica y el comportamiento de las personas expuestas (García et al., 2014).

Hoy en día se desconoce a nivel nacional investigaciones relacionadas con la caracterización de COV's en las EDS y los riesgos que representan a la salud de las personas expuestas. La presente investigación tiene como finalidad generar información a partir de los datos indicativos

de las concentraciones encontradas en la caracterización de los compuestos orgánicos volátiles, específicamente los BTEX y realizar una comparación con normativas internacionales y nacionales de estos. Al mismo tiempo, se pretende observar el comportamiento de los BTEX en las seis (6) estaciones de servicio de combustibles estudiadas, las cuales se encuentran ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Barranquilla, y proveer información sobre los posibles riesgos para la salud de los trabajadores asociados a la exposición de BTEX. La importancia y pertinencia de realizar la presente investigación también surge de la carencia de información que se tiene de los COV's en las EDS en la ciudad de Barranquilla, así como sus contribuciones a la contaminación atmosférica y los riesgos ocupacionales asociados a la exposición de estos compuestos en las EDS.

De esta manera, se busca contribuir a mejorar el conocimiento sobre la contaminación atmosférica urbana en la ciudad de Barranquilla, asimismo, la importancia que tiene esta información para que sea parte de la etapa fundamental para el diseño e implementación de políticas por parte de las autoridades competentes sobre calidad del aire en la ciudad.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Caracterizar los compuestos orgánicos volátiles y su posible riesgo en la salud de los trabajadores expuestos en las estaciones de servicios de combustibles (EDS) en la ciudad de Barranquilla, Colombia.

4.2 Objetivo específico

1. Determinar las concentraciones de los COVs (benceno, tolueno, xileno y etilbenceno) en EDS de Barranquilla
2. Identificar los procesos que contribuyen a la emisión de compuestos orgánicos volátiles.
3. Comparar las concentraciones observadas con otros estudios y normativas internacionales.
4. Realizar un análisis de los posibles riesgos a la salud de la población expuesta a los BTEX.

5. Estado del arte

Los compuestos orgánicos volátiles (COV's) son un grupo de contaminantes presentes en la atmósfera urbana y provenientes de fuentes antropogénicas y naturales. Entre estas fuentes se pueden destacar el tráfico vehicular, las estaciones de servicio, etc. Mencionado lo anterior, se hace necesario mantener un control de las emisiones antropogénicas de COV's a la atmósfera (Srivastava et al., 2006).

El aumento progresivo de automóviles, el consumo de gasolina y las pérdidas de COV's en las EDS durante la distribución de combustible, ha despertado una preocupación por la evaporación de la gasolina como fuente importante de emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV's), especialmente en megaciudades afectadas por problemas de calidad del aire (Zhang et al., 2013).

Los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, m, p-xileno y o-xileno) son los componentes con mayor proporción dentro de los compuestos orgánicos volátiles (COV's) en la atmósfera de la mayoría de las áreas urbanas y se ha encontrado que estos generan impactos negativos sobre el medioambiente y la salud pública, desencadenado una preocupación general (Liu et al., 2009).

La combustión de combustibles fósiles en vehículos automotores, bombas de gas de estación y otros equipos también pueden ser fuentes de emisiones de BTEX. Debido a su uso generalizado, los BTEX también tiene la propiedad de liberarse en el ambiente mediante evaporación durante procesos, como llenado de tanques, operaciones de petróleo y gas, uso de solventes y derrames por accidentes (Tsangari et al., 2017).

En Bangkok, Rattanajongjitrakorna y Prueksasitb (2014) llevaron a cabo un estudio para encontrar la cantidad cambiante de BTEX en un período de tiempo y su concentración en tres puntos diferentes de una estación como: el frente de la estación que representa BTEX en el borde de la carretera, centro de la estación que representa BTEX de la boquilla de llenado, y parte

trasera de la estación que representa el aire ambiente en la estación de servicio. El muestreo se realizó 3 días a la semana (martes, viernes y domingo) y se tomó durante 2 semanas consecutivamente. El muestreo comenzó desde las 6 a.m. hasta las 10 p.m. y dividido en 4 períodos por día. Cada muestra había sido tomada por 4 horas; mañana (6 a.m. a 10 a.m.), mediodía (10 a.m. a 2 p.m.), tarde (2 p.m. a 6 p.m.), y noche (6 p.m. a 10 p.m.). En los tres puntos monitoreados se evidenció que el centro de la estación de servicio que es considerada como la principal fuente puntual tiene la mayor concentración promedio de BTEX: benceno $589,91 \pm 107,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tolueno $1.694 \pm 212,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, etilbenceno $96,74 \pm 17,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, m, p-xileno $409,79 \pm 59,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y o-xileno $123,96 \pm 16,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los BTEX totales en el punto central fueron 12,8 y 22,9 veces más altos que los de la carretera y la parte trasera de la gasolina estación, respectivamente. La temperatura y la humedad son variables meteorológicas posibles que afectan las concentraciones de BTEX.

En Teherán, la capital de Irán, Heibati et al., (2017) evaluaron la exposición al benceno, el tolueno, el etilbenceno y el xileno (BTEX) entre los trabajadores de cuatro estaciones de una importante empresa de distribución de petróleo. Las muestras se recogieron durante el turno de trabajo (8 horas) para 50 trabajadores en las cuatro estaciones. Se evidenció que la concentración media máxima medida en los sitios para el benceno fue de $2.788 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (estación 4), el tolueno fue de $9.407 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (estación 4), el etilbenceno fue de $781 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (estación 1) y el xileno fue de $1.134 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Estación 1). En donde la concentración de benceno en exposición personal promediada 8 h superó el valor recomendado de $1.600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por el Comité iraní y el umbral ponderado en el tiempo de 8 h (TWA) de 0,5 ppm ($1.600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales. Además, el mayor nivel de riesgo se encontró en los trabajadores involucrados en la dispensación, carga y descarga de gasolina. El

riesgo total promedio de cáncer también está asociado con los trabajadores de medición de tanques, bomberos, conductores y empleados de oficina. Del mismo modo, los índices de riesgo, que indicaron que el xileno y particularmente el benceno fueron los contribuyentes más fuertes.

En otro estudio, Correa et al. (2011) evaluaron las emisiones de BTEX en once estaciones de servicio ubicadas en Río de Janeiro, en donde se recolectaron 49 muestras en el área de la estación de servicio y otras a 250 m de distancia en una de las áreas estudiadas para evaluar la dispersión de la pluma de los contaminantes emitidos durante el proceso de llenado. Las muestras fueron recolectadas durante el horario comercial normal para 20 minutos. Los resultados indicaron un valor promedio de $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para benceno, $47,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para tolueno, $23,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para etil benceno, $46,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para m + p-xileno y $14,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o-xileno. Las concentraciones estimadas usando el modelo de dispersión de pluma gaussiana indicó que los valores para BTEX fueron mayores en el aire ambiente de las gasolineras que los encontrados en el centro de la ciudad área de Río de Janeiro, además a 150 m de la estación de servicio, se encontraba un hospital, dos escuelas y varias residencias, las cuales se pudieron ver afectadas por las emisiones de BTEX. Estos resultados indicaron la importancia de una correcta ubicación de las estaciones de servicio.

Si bien en Colombia, algunas ciudades han realizado estudios sobre la presencia de BTEX en el aire, principalmente muestras extraídas de vías con alto flujo vehicular (Rubiano, 2013). Estudios realizados en la zona urbana del Valle de Aburrá, menciona que de acuerdo a los valores obtenidos en las campañas de caracterización realizadas en las zonas urbanas, se evidencian niveles que sobrepasan la norma en algunos puntos de muestreo poniendo en riesgo a mediano y largo plazo la salud de los habitantes de la región. Del mismo modo, menciona que el incremento del parque automotor, la sobreoferta del transporte público colectivo e individual, la

mallas viales limitadas por falta de espacio físico genera problemas de congestión vehicular, disminución de la velocidad e incremento del tiempo de desplazamiento llevando a un aumento en las emisiones atmosféricas y por consiguiente a un deterioro de la calidad del aire y la calidad de vida de los ciudadanos. Sin embargo, en Colombia existe una deficiencia de trabajos de investigación que evalúen las concentraciones de COV's, especialmente los BTEX en estaciones de servicio de combustible (EDS) y la evaluación del riesgo para la salud humana asociado a la exposición de BTEX en estas áreas.

6. Marco teórico

6.1 Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (COV's) son todos aquellos compuestos orgánicos o sustancias químicas que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que se pueden evaporar de la fase líquida a la fase gaseosa a dicha temperatura, y por lo tanto son muy volátiles. Esta característica les permite alcanzar altas presiones de vapor y, por consiguiente, tendrán concentraciones elevadas en el aire que rodea una fuente.

Estos compuestos están formados fundamentalmente por carbono, que se convierten fácilmente en vapor o gas y que tienen a 20 °C una presión de vapor mayor a 0,01 kPas, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso (Sánchez y Alcántara, 2007).

Los compuestos orgánicos volátiles (COV's) más abundantes y principales que suelen presentarse en el aire son el metano, n-butano, ipentano, etano, n-pentano, propano y etileno. Entre los derivados aromáticos, se destacan el benceno, tolueno y xilenos, cuya elevada volatilidad favorece su presencia en el aire (Costa, 2015).

6.1.2 Clasificación de los COV's

De manera general existen dos grupos principales de compuestos orgánicos:

Los tradicionales *Major Air Pollutants* (MAP) o principales agentes contaminantes que comprenden dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas y los contaminantes secundarios de ozono (Sánchez & Alcántara, 2007).

Y el grupo llamado de *Hazardous Air Pollutants* o Agentes contaminantes peligrosos (HAP) entre los que están comprendidos agentes químicos, físicos y biológicos de diferentes tipos. Los HAP están generalmente presentes en la atmósfera en mucha menor concentración que los MAP,

aunque son más difíciles de controlar debido a que en muchas ocasiones no son identificados (Sánchez y Alcántara, 2007).

Entre los HAP los más importantes están los COV's emitidos principalmente a través de la combustión parcial de carburantes y a través de la evaporación de disolventes orgánicos. De ellos destacan el benceno y el 1,3-butadieno por ser potencialmente cancerígenos. Ambos son emitidos principalmente a través de la combustión de petróleo y sus derivados (Sánchez y Alcántara, 2007).

Hidrocarburos poliaromáticos (PAH): son los compuestos emitidos en cantidades pequeñas a la atmósfera, pero son potencialmente cancerígenos (Sánchez y Alcántara, 2007).

6.1.3 Fuentes

Los COV's pueden provenir de diversas fuentes tales como: gases de escape de los vehículos, procesos comerciales industriales, solventes orgánicos, pinturas de base de aceite, vapores de la gasolina, fugas de instalaciones en refinerías, fugas en tanques de almacenamiento de gasolina, derrames de combustible, fluidos de encendedores, podadores a gasolina, operaciones de revestimientos superficial que empleen solventes, industrias de la impresión, etc. (Cárdenas, 2009).

Una fuente importante de contaminación por COV's son las gasolineras que generan emisiones fugitivas durante los procesos de carga y descarga de combustibles (García et al., 2014).

En la Figura 2 se evidencian las distintas fuentes de emisión de COV's, en las estaciones de servicio.

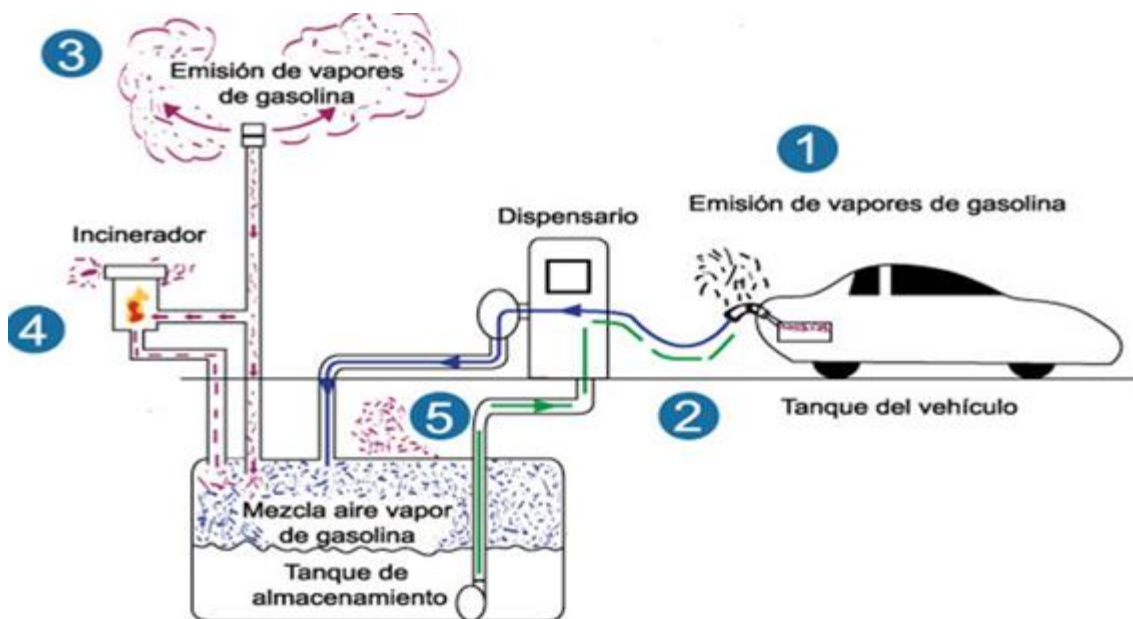


Figura 2. COV's emitidos en una EDS. Tomado de "Evaluación de Sistemas de Recuperación de Vapores en Estaciones de Servicio", (Petroquimex, 2016).

Del mismo modo, dentro del área de una estación de servicio, se generan varios (COV's), provenientes de la evaporación de los combustibles líquidos y especialmente de la gasolina, que tiene un total de COV's de aproximadamente $0,75 \text{ g/cm}^3$; donde este vapor de gasolina está compuesto principalmente de hidrocarburos ligeros (compuestos de bajo peso molecular) (Kountouriotis, Aleiferis y Charalambides, 2014).

Asimismo, los COV's se liberan en el medio ambiente por otros medios como; fugas de tanques y tuberías subterráneas y durante el repostaje de un automóvil en la estación de servicio. De igual manera, estos COV's son altamente volátiles y tienen puntos de ebullición entre -1 y 216°C , y, por consiguiente, pueden evaporarse fácilmente cuando la gasolina está expuesta a la atmósfera (Kountouriotis, et al., 2014).

La gasolina se compone de más de 1000 sustancias, lo que la hace una de las mezclas más complejas a la que el hombre está expuesto y se compone de 25 a 30 % de compuestos

aromáticos dentro de los cuales figuran el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) (García et al., 2015).

6.1.4 Efectos directos de los COV's sobre la salud humana

Aparte de los problemas ambientales asociados con los COV's, el impacto de estos contaminantes en la salud humana se ha estudiado durante muchos años. Como se ha mencionado anteriormente, los COV's constituyen el grupo de contaminantes más destacados en las estaciones de servicio, cuyas propiedades, tales como su carácter no iónico, su bajo peso molecular y volatilidad, permite la absorción por las diferentes vías de exposición: respiratoria, cutánea e ingestión, afectando directamente a la salud (García et al., 2015).

Las concentraciones de vapor de gasolina (entre 140 y 35,000 ppm) y la duración de la exposición (entre unos minutos y unas pocas horas), y mediante el efecto sobre la inhalación del vapor de gasolina varía desde la tos, el dolor de garganta y la irritación ocular hasta la muerte (Kountouriotis et al., 2014). Del mismo modo, se han estudiado los efectos adversos de la exposición al vapor de gasolina sobre la salud de los empleados de las estaciones de servicio y los residentes en las cercanías de las gasolineras. Donde se ha informado que la exposición al vapor de gasolina aumenta el riesgo de leucemia mieloide aguda, leucemia infantil aguda, cáncer de próstata y otras formas de cáncer en diversas partes del cuerpo (Kountouriotis et al., 2014).

6.2 Generalidades de los BTEX

Los BTEX son un conjunto de compuestos formados por el benceno, el etil-benceno, el tolueno, el orto-xileno, el meta-xileno y el para-xileno. Al respecto, estos son un grupo de compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a la familia de los hidrocarburos aromáticos, que

se caracterizan por presentarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua, pero muy solubles en otras sustancias. Asimismo, este alto poder disolvente hace que estos compuestos, sobre todo tolueno y xileno, sean muy apreciados por la industria (Lacasaña, 2008).

Del mismo modo, los BTEX pueden proceder de fuentes naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) o artificiales, siendo estas últimas las más importantes. El hecho de que se encuentren de manera natural en el petróleo y en sus derivados hace que la mayoría de procesos de combustión de hidrocarburos (tanto ligados a la industria como al tráfico rodado) sean importantes fuentes de emisión de estos compuestos. Además, a estas fuentes hay que agregarles los procesos industriales que los emplean como intermediarios para la fabricación de otros productos. Así como, el humo del tabaco como otras de las principales fuentes emisoras de estos COV's (Lacasaña et al., 2009).

Los BTEX pueden ser liberados por diferentes fuentes, tal como lo presenta la Figura 3, donde pueden ser liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo (Rubiano, 2013).

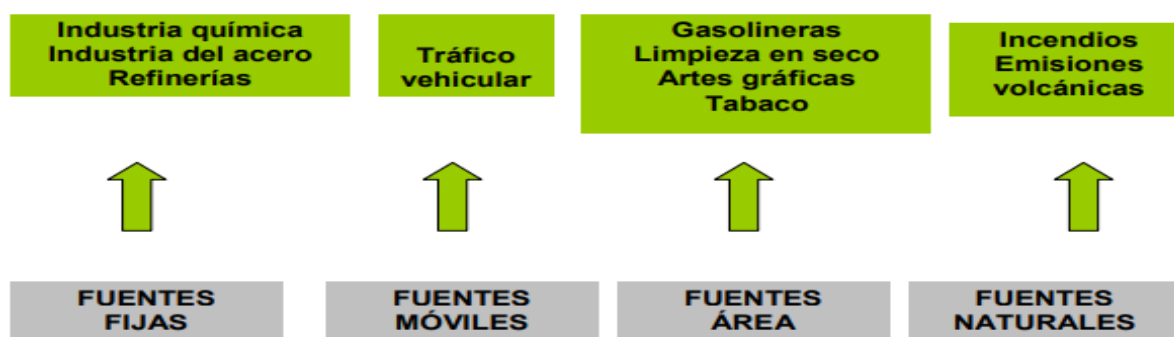


Figura 3. Principales fuentes de BTEX. Se evidencia las distintas actividades y fuentes que liberan BTEX a la atmósfera. Fuente “Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar”, (Lacasaña, et al., 2008).

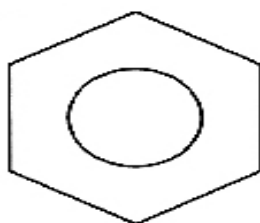
La exposición humana a estos contaminantes está determinada por las concentraciones de los mismos en la vía pública y en lugares cerrados (viviendas, oficinas, escuelas, etc.), así como por las actividades personales. La exposición a BTEX en población general se produce fundamentalmente por inhalación o por contacto, más que por otras vías como la ingestión a través de alimentos o bebidas contaminadas (Lacasaña et al., 2009).

Por otra parte, las vías de entrada de estos compuestos a nuestro organismo son la oral, respiratoria y la cutánea, lo que representa un riesgo para la salud. Asimismo, los BTEX tienen la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica y producir un daño orgánico cerebral por su acción neurotóxica (Rubiano, 2013). En este caso, es necesario mencionar que las poblaciones especialmente susceptibles son las mujeres en las primeras etapas del embarazo, los menores de 18 años y los mayores de 65 años. En los primeros, los mecanismos de defensa aún no están completamente desarrollados y en los segundos ya se encuentran deteriorados, así como las poblaciones en mal estado general, la mala nutrición, las enfermedades crónicas, la obesidad y la sensibilización por afecciones previas (Rubiano, 2013).

Igualmente se ha tratado durante la última década que la población expuesta incluso a bajas concentraciones de COV's muestran trastornos neurocomportamentales (García et al., 2014). Tal es el caso que dicha exposición incluso provoca problemas más críticos de la salud pública como alteraciones neurotóxicas que se expresan inicialmente en cambios sutiles de la función psicológica y el comportamiento. Del mismo modo, una sustancia neurotóxica es capaz de interferir en las funciones normales del sistema nervioso central (SNC) y causar daño celular irreversible, muerte celular o ambas cosas (García et al., 2014).

6.2.1 Benceno

El benceno es un hidrocarburo aromático y se encuentra en estado líquido, además es incoloro con olor dulce y los derivados de este se le denominaban compuestos aromáticos debido al olor característico que poseen (Rubiano, 2013).



Benceno
C₆H₆

Figura 4. Molécula del benceno.

El benceno tiene una elevada presión de vapor (9,95 kPa a 20°C), por lo que le permite evaporarse rápidamente a temperatura ambiente, además la volatilización es el proceso más representativo en la distribución de este compuesto en el ambiente (Costa, 2015).

Por otro lado, las principales fuentes naturales del benceno se encuentran en las emisiones volcánicas y los incendios forestales, las cuales contribuyen a la presencia de benceno en el medio ambiente (Rubiano, 2013).

También, las principales fuentes antropogénicas del benceno en el medio ambiente son las industrias de explotación de crudo, especialmente en refinerías petroquímicas donde está presente como materia prima. Asimismo, en los centros urbanos, las principales fuentes de emisión son las procedentes del tráfico, donde se presenta por la evaporación directa de las gasolinas o por la formación en los motores, tanto de gasolina como de gasoil. Del mismo modo, las estaciones de servicio representan una fuente generadora de COV's (entre ellos el benceno) (Costa, 2015).

Aproximadamente el 45% de las emisiones totales de COV's, como el benceno y el tolueno, en la Ciudad de México, el Reino Unido y Los Ángeles provienen de estaciones de servicio, evaporación de gasolina y emisiones de vehículos de motor (Dehghani et al., 2018).

Por otro lado, la degradación del benceno en el aire oscila entre unas horas y unos pocos días, dependiendo a factores como el clima y de la presencia de otras especies (Costa, 2015).

Igualmente, el benceno en su estado gaseoso, tiene la capacidad de reaccionar en el aire con radicales hidroxilo por vía fotolítica, lo cual constituye un mecanismo para su degradación. Del mismo modo, la lluvia, la fotólisis y la reacción con radicales NO_3 , o con ozono constituye otro medio de eliminación importante (Rubiano, 2013).

Por otra parte, el benceno es un agente altamente toxico, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de Estados Unidos ha determinado que el benceno es un carcinógeno (una sustancia que produce cáncer) reconocido. Del mismo modo, tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA han determinado que el benceno es carcinogénico (las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir cáncer o aumentar su frecuencia) en seres humanos (Rubiano, 2013).

La exposición breve (5 a 10 minutos) a niveles muy altos de benceno en el aire (10.000 a 20.000 ppm equivalente a 31.927 a 63.853 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) puede producir la muerte. Niveles más bajos (700 a 3.000 ppm equivalente a 2.235 a 9.578 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pueden producir letargo, mareo, aceleración del latido del corazón, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento (Rubiano, 2013).

Regulación del Benceno

Para saber los umbrales establecidos para el contaminante benceno en el ambiente, se puede tomar como referencia la Resolución 2254 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y normas internacionales como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1.

Regulación del benceno en el ambiente y para salud ocupacional.

Referencia	Tipo de exposición	Periodo de exposición	Límite de exposición	
Instituto Nacional de Salud Ocupacional y de Seguridad [NIOSH]	Ocupacional	8 horas	1 ppm	
La Directiva 97/42/CE, modificación de la 90/394/CEE.	Ocupacional	8 horas	1-3 ppm	
Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIH]	Ocupacional	8 horas/Día y 40 horas/semana	0,5 ppm	1,6 mg/m ³
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] Resolución 2254	Ocupacional	De corta duración	2,5 ppm	8 mg/m ³
Organización Mundial de la Salud [WHO]	Ambiental	Anual		5 µg/m ³
Directiva Europea de Calidad del Aire (2000/69/CE). RD 1073/2002 (España).	Ambiental	1 año		5-20 µg/m ³
	Ambiental	1 año		5 µg/m ³

Nota: La tabla 1 muestra los límites y tiempos de exposición para el benceno en los diferentes tipos de exposición, adaptado de “Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar”, por M. Lacasaña, B. González, M. Rodríguez & A. Daponte, 2008, p.10. “Desarrollo de una metodología de muestreo y análisis mediante captadores pasivos y cromatografía gaseosa para determinar contaminantes hidrocarburos (BTEX) en el aire”, por M.

Gallego, 2014, p.29. “Evaluación de la exposición a benceno: control ambiental y biológico”, por Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid. “Resolución 2254, norma de calidad del aire” por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, p3.

6.2.2 Tolueno

El tolueno es un hidrocarburo aromático volátil también es conocido como metilbenceno, toluol y fenil metano, se caracteriza por ser un líquido incoloro y presenta un olor como tiner. Está compuesto de 91.25% de carbono y 8,75% hidrógeno, su fórmula química es $C_6H_5CH_3$, y tiene una presión de vapor es de 3,8 kPa (a 25°C), además presenta una solubilidad muy baja en el agua, aproximadamente de 500 mg/L, siendo soluble en la mayoría de sustancias orgánicas lipofílicas, incluyendo también las membranas celulares, donde puede atravesar barreras como la piel por su poder lipofílico, lo que lo hace aún más tóxico para la salud (Sutta, 2016).

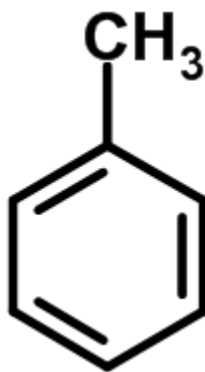


Figura 5. Molécula de tolueno.

Por otro lado, el tolueno se puede encontrar en la naturaleza en el petróleo crudo y en el árbol de tolu (*Myroxylon balsamum*) de donde fue extraído por primera vez (Sutta, 2016). Este compuesto es producido en el proceso de fabricación de gasolina y otros combustibles del

petróleo crudo, en la producción de coque a partir del carbón y como un subproducto en la producción de estireno (Sutta, 2016).

Asimismo, se puede encontrar en mezclas utilizadas como productos de limpieza en distintas industrias y en artesanía. Es utilizado para la fabricación de detergentes y cuero artificial y además es un aditivo del petróleo, por lo que está presente en todo el mundo (INSHT, 2007).

En centros urbanos, las principales fuentes de emisión son las provocadas por el tráfico de vehículos y las estaciones de servicio. La diferencia con respecto al benceno es cuantitativa, de manera que la presencia en aire es mayor en el caso del tolueno (de 3 a 9 veces) (Costa, 2015).

Por otro lado, las principales rutas de administración en el cuerpo del tolueno son por la vía respiratoria y cutánea, además al estar expuesto a grandes cantidades de tolueno puede ocasionar daños al sistema nervioso (cerebro y nervios). Del mismo modo, de manera temporal se pueden presentar síntomas como dolores de cabeza, mareos o inconsciencia. También, de manera permanente puede ocasionar alteraciones en la coordinación motora, déficit cognitivo y pérdida de visión y auditiva, otros efectos para la salud que puedan suscitar las preocupaciones incluyen debilidad del sistema inmune, daño en el riñón, hígado, y el sistema reproductivo (Sutta, 2016).

Regulación del tolueno

En la actualidad para el caso del tolueno, m/p-xileno, o-xileno y etilbenceno las evidencias científicas existentes no son suficientes para proponer una regulación similar a la del benceno. No obstante, la Organización Mundial de la Salud recomienda que las concentraciones de tolueno en aire deberían mantenerse por debajo del umbral de detección por olor que corresponde con un nivel de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un promedio de 30 minutos (Lacasaña et al., 2009).

Tabla 2.

Regulación del tolueno en el ambiente y ocupacional.

Compuesto	Referencia	Tipo de exposición	Periodo de exposición	Límite de exposición	
Tolueno	Fundación Alemana de Investigación Científica [DFG]	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	50 ppm	190 mg/m ³
	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIH]	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	20-50 ppm	191 mg/m ³
	Real Decreto 1124/2000 y Directiva Europea 2000/39/CE	Ocupacional	8 horas y 15 minutos		50 mg/m ³
	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid. [INSHT]	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	50 ppm	191 mg/m ³
	Instituto Nacional de Salud Ocupacional y de Seguridad [NIOSH]	Ocupacional	8 horas	100 ppm	377 µg/m ³
		Ocupacional	No más de 15 minutos	150 ppm	560 mg/m ³
	Organización Mundial de la Salud [WHO]	Ambiental	30 minutos	0,27 ppm	150 µg/m ³
	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] Resolución 2254	Ambiental	1 semana		260 µg/m ³
			30 minutos		1000 µg/m ³

Nota: La tabla 2 muestra los límites y tiempos de exposición para el tolueno en los diferentes tipos de exposición, adaptado de “Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar”, por M. Lacasaña, B. González, M. Rodríguez & A. Daponte, 2008, p.10. “Riesgos higiénicos de los trabajadores de estaciones de servicio” por G. Rosell, N. Jiménez & S. Torrado, 2007, p.3. “Resolución 2254, norma de calidad del aire” por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, p3.

6.2.3 Xileno

Existen tres tipos de xileno, donde las posiciones de los grupos metilos varían en el anillo de benceno: el meta-xileno, orto-xileno y para-xileno (m-, o-, y p-xileno). Estas formas se conocen como isómeras. Además, el xileno también se conoce como xilol o dimetilbenceno y la mezcla de xileno contiene los tres isómeros y generalmente también contiene 6 a 15% de etilbenceno (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

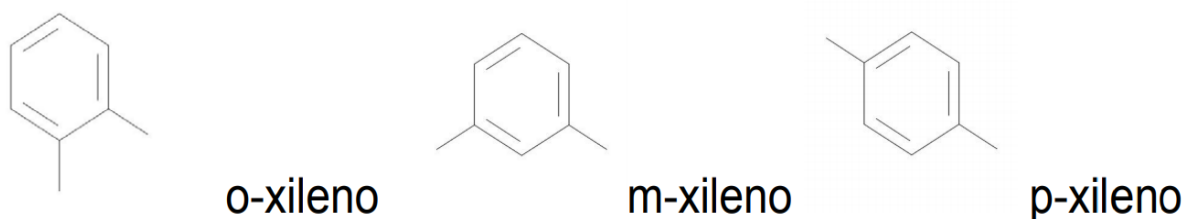


Figura 6. Molécula de xileno.

Por otro lado, las principales fuentes de contaminación de estas sustancias se producen por la emisión de gases de coque, y de vapores generados por la destilación seca de la madera y de algunos derivados del petróleo (ECHA, 2017).

Del mismo modo, los xilenos son buenos disolventes y se usan como tales. Además, forman parte de combustibles fósiles (gasolinas) debido a su elevado octanaje y en la química orgánica son utilizados como productos de partida en la obtención de los ácidos ftálicos que se sintetizan por oxidación catalítica.

Por otra parte, los xilenos tienen un efecto sobre la salud humana, donde en contacto con la piel y los ojos, este compuesto puede provocar irritación, enrojecimiento y dolores agudos. Igualmente, una exposición continua a elevadas concentraciones, puede producir una depresión del sistema nervioso central, la pérdida del conocimiento y consecuentemente la muerte (ECHA,

2017). Asimismo, estudios de experimentación animal han demostrado que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana (ECHA, 2017).

En relación, tanto las exposiciones breves como prolongadas a altas concentraciones de xileno pueden producir numerosos efectos sobre el sistema nervioso, como por ejemplo dolor de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y pérdida del sentido del equilibrio. Algunas personas expuestas brevemente a cantidades de xileno muy altas fallecieron (ATSDR, 2016).

Regulación del Xileno

Tabla 3.

Regulación del Xileno en el ambiente y para salud ocupacional.

Compuesto	Referencia	Tipo de exposición	Periodo de exposición	Límite de exposición	
Xileno	Fundación Alemana de Investigación Científica [DFG]	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	100 ppm	440 mg/m ³
	Asociación que promueve la salud ocupacional y ambiental. [ACGIH]	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	100 ppm	442 mg/m ³
	Real Decreto 1124/2000 y Directiva Europea 2000/39/CE	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	221 ppm	
	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid. [INSHT]	Ocupacional	8 horas y 15 minutos	50 ppm	221mg/m ³
	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional [OSHA]	Ocupacional	8 horas	100 ppm	435 mg/m ³

Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIC]	Ocupacional	tiempo razonable de un trabajador típico	100 ppm
		Límite de exposición a corto plazo	150 ppm
		1 hora	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Organización Mundial de la Salud (WHO)	Ambiental	1 año	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		30 minutos	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Nota: La tabla 3 muestra los límites y tiempos de exposición para el Xileno en los diferentes tipos de exposición, adaptado de “Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar”, por M. Lacasaña, B. González, M. Rodríguez & A. Daponte, 2008, p.10. “Riesgos higiénicos de los trabajadores de estaciones de servicio” por G. Rosell, N. Jiménez & S. Torrado, 2007, p.3. “Resolución 2254, norma de calidad del aire” por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, p3, “límites de exposición estipulados por la NIOSH, 2003 y la ACGIC” para los BTEX, Colegio Ramazzini, 2004.

6.2.4 Etilbenceno

El etilbenceno es un hidrocarburo aromático volátil, también conocido como etano fenil y etilbenzol, es un líquido incoloro, inflamable y presenta un olor similar a la gasolina. Está compuesto de 90.51% de carbono y 9.49% de hidrógeno con fórmula química $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$, tiene una presión de vapor de 0,9 kPa (a 20°C) y una solubilidad en agua de 0,015 g/100mL a 20°C (Sutta, 2016).

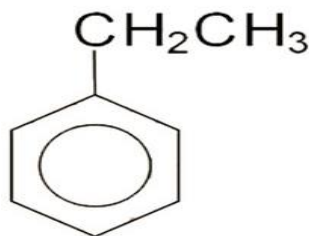


Figura 7. Molécula del etilbenceno.

Así mismo, el etilbenceno se encuentra en productos naturales como carbón y petróleo (Sutta, 2016). Otras de las formas en que lo podemos encontrar es en los productos de manufactura como tinturas, insecticidas y pinturas (ATSDR, 2016). De igual forma, el etilbenceno encontrado en la atmosfera es procedente de los vehículos de motor y la evaporación de los disolventes (Costa, 2015).

Por consiguiente, el etilbenceno ingresa al cuerpo por la respiración y por medio de la piel, la mayor parte se elimina rápidamente por la orina, pero una pequeña cantidad puede quedar retenida en los tejidos grasos (INSHT, 2007).

Estudios muestran que el etilbenceno no presenta evidencias de genotoxicidad. Todavía no hay datos que demuestren su toxicidad a nivel reproductivo (ATSDR, 1999).

Dentro de sus efectos esta la irritación ocular, nasal y de garganta (INSHT, 2007).

Regulación del etilbenceno

En Colombia no existen normas que regulen la presencia de etilbenceno en el aire, se toma como referencia normas internacionales como lo muestra la tabla 4.

Tabla 4.

Regulación del etilbenceno en el ambiente y ocupacional.

Compuesto	Referencia	Tipo de exposición	Periodo de exposición	Límite de exposición	
Etilbenceno	Instituto Nacional de Salud Ocupacional y de Seguridad [NIOSH]	Ocupacional	8 horas	100 ppm	377 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.	Ocupacional	Diaria	100 ppm	442 mg/m^3
	Madrid. [INSHT]	Ocupacional	Corta duración	200 ppm	884 mg/m^3
	Organización Mundial de la salud	Ambiental	1 año		1-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(WHO)

Nota: La tabla 4 muestra los límites y tiempos de exposición para el etilbenceno en los diferentes tipos de exposición, adaptado de “Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar”, por M. Lacasaña, B. González, M. Rodríguez & A. Daponte, 2008, p.10. “Desarrollo de una metodología de muestreo y análisis mediante captadores pasivos y cromatografía gaseosa para determinar contaminantes hidrocarburos (BTEX) en el aire”, por M. Gallego, 2014, p.29. “Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del etilbenceno”, por Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid, 2007, p.1.

7. Metodología

7.1 Área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el área urbana de la ciudad de Barranquilla, capital del departamento del Atlántico, en Colombia. Se escogieron (6) estaciones de servicios de combustibles para realizar los monitoreo, ubicadas en los puntos indicados en la Tabla 5.

Tabla 5.

Ubicación de las EDS evaluadas en el presente estudio.

Nombre EDS	Dirección	Coordenadas
EDS 1	Carrera 50 con calle 54	N10°59'27,4'' W074°47'27,5''
EDS 2	Carrera 54 con calle 53	N10°59'33,3'' W074°47'20,8''
EDS 3	Carrera 44 con calle 53	N10°59'09,09'' W74°47'25,75''
EDS 4	Carrera 45 con calle 45	N10°59'07,5'' W074°47'07,6''
EDS 5	Carrera 43 con calle 47	N10°58'59,53'' W74°47'13,69''
EDS 6	Carrera 45 con calle 59	N10°59'20,49'' W74°47'39,63''

Nota: La tabla 5 proporciona información de la dirección y coordenadas geográficas de cada EDS evaluada en el presente estudio.

A continuación, por observación y consulta al administrador de cada EDS se indican los distintos servicios de cada estación, el número de islas que surten el llenado de los automóviles, la cantidad de personas que tienen ocupaciones laborales en cada una de las estaciones de servicios monitoreadas y la ubicación o representación gráfica de estas en el área de estudio (ver **Figura 8**):

EDS 1: Esta estación de servicio almacena y distribuye combustibles líquidos derivados del petróleo como Premium, Corriente y Diésel para vehículos automotores. Cuenta con tres islas que tienen equipos fijos (surtidores) que llenan directamente los tanques de combustible. Además, presta otros servicios como lubricación, reparación de llantas, trabajos menores de mantenimiento automotor, venta de llantas, neumáticos, lubricantes y baterías. Por otro lado, son 10 la cantidad de personas que laboran en la EDS, repartidos de la siguiente manera: tres surten el combustible a los vehículos automotores, tres trabajan en los servicios de lubricación, reparación de llantas, etc. y 4 que están vinculados en el área administrativa.

EDS 2: Esta estación ofrece el servicio de expendió de combustibles para vehículos automotores como Corriente, Extra y ACPM, cuenta con cuatro islas que tiene sus respectivos surtidores que llenan el tanque de combustible del automóvil. Del mismo modo, esta estación ofrece servicios como: lubricación, lavado general y/o de motor, cambio y reparación de llantas, alineación y balanceo, servicio de diagnóstico, trabajos de mantenimiento automotor, venta de llantas, neumáticos, lubricantes, baterías y accesorios y demás servicios afines. Por otro lado, son 13 la cantidad de personas que laboran en la EDS, en las islas surtidoras laboran 2 personas y las demás están repartidas en sus servicios afines.

EDS 3: Esta estación ofrece el servicio de expender combustibles líquidos como Corriente, Extra, Diésel y Supreme para vehículos automotores. Cuenta con 4 islas y ofrece servicios de

lubricación, cambio y reparación de llantas, alineación y balanceo, servicio de diagnóstico, trabajos de mantenimiento automotor, venta de llantas, neumáticos, lubricantes, baterías y accesorios, etc. Del mismo modo, son 17 la cantidad de personas que laboran en la EDS, en las islas surtidoras laboran 2 personas y las demás están repartidas en sus servicios afines.

EDS 4: Esta estación cuenta con 2 islas que distribuyen combustibles líquidos como Corriente, Extra y Diésel. Además, ofrece servicios de lubricación, cambio y reparación de llantas, alineación y balanceo, venta de llantas, lubricantes, neumáticos, etc. De la misma manera, son 10 la cantidad de personas que laboran en la EDS, en las islas surtidoras solo laboran 2 personas y las demás están repartidas en sus servicios afines.

EDS 5: Esta estación cuenta con dos islas que ofrecen el servicio de expendio de combustibles líquidos como Extra, Corriente y Biodiesel. Asimismo, ofrece servicios de lubricación, cambio y reparación de llantas, alineación y balanceo, venta de llantas, lubricantes, neumáticos, etc. Además, son 9 personas que laboran en las EDS, en las islas surtidoras laboran 2 y las demás están repartidas en sus servicios afines.

EDS 6: Esta estación cuenta con dos islas que distribuye combustibles líquidos como Biodiesel, Corriente y Extra a los vehículos automotores. Además, ofrece otros servicios como venta de lubricantes, limpiadores, extintores, etc. Del mismo modo, en la EDS laboran 10 personas, en las islas surtidoras laboran 2 personas y las demás se encuentran repartidas en sus servicios afines.



Figura 8. Área de estudio. Adatado de Google Earth (2016).

7.2 Parámetros meteorológicos

Fueron consideradas los parámetros meteorológicas temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, dirección del viento y velocidad del viento en cada una de las seis (6) EDS seleccionadas. Estas informaciones fueron obtenidas utilizando un termo-anemómetro portátil modelo Bluetooth Kestrel 4500 (**Figura 9**), que fue instalado en las EDS durante el período de muestreo. Fue seleccionada una frecuencia de toma de datos de 1 min. El equipo, fue ubicado en un punto lejano de cualquier barrera como pared, islas y vehículos dentro de la estación de servicio, para evitar cualquier injerencia de estos con la dirección y velocidad del viento.



Figura 9. Termo-anemómetro portátil modelo Bluetooth Kestrel 4500.

7.3 Evaluación de las concentraciones de COV's

7.3.1 Toma de datos

Se realizaron campañas de registro de datos, por la mañana y por la tarde, con una duración de 30 minutos para cada una de las estaciones de servicio escogida. Para la toma de los datos en la jornada diurna se llevó a cabo entre el rango de horarios de 7:00 a.m. a 12 p.m. (con tiempos de 30 minutos en cada estación), del mismo modo, para la jornada vespertina de 2:00 a 8:00 p.m. En cada una de las EDS se tomaron datos en 4 mañanas y en 4 tardes, totalizando 240 minutos de muestreo por EDS. Las tomas de datos se desarrollaron en las siguientes fechas: 3, 5, 25, 26, 27 y 28 de Marzo; 21, 28 y 30 de Abril; 12, 16, 17 y 24 de Mayo de 2018.

Para el registro de la concentración de los COV's emitidos por los automóviles y la actividad de tanqueo en cada una de las estaciones de servicio, se utilizó un medidor/monitor de gas portátil modelo HAL-HVX501 de la empresa Hall Technology (**Figura 10**). Este equipo fue ubicado lo más cercano posible al tanque de llenado del automóvil cuando se esté surtiendo, para que el medidor pueda registrar o detectar el gas emitido.



Figura 10. Medidor portátil de compuestos orgánicos volátiles (COV's), modelo HAL-HVX501.

A continuación, la figura 11 muestra la toma de datos de los COV's en las seis EDS.

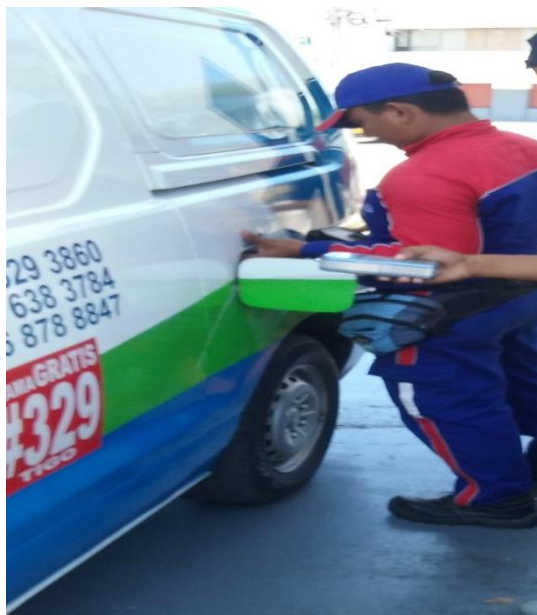


Figura 11. Toma de muestras de los COVs en una EDS.

7.3.4 Análisis de los datos

7.3.4.1 Comportamiento de los parámetros meteorológicos

Registrar el comportamiento de los parámetros meteorológicos en cada EDS, sirve para evaluar la dispersión de los contaminantes, la toma de datos de la dirección y velocidad del viento de cada EDS estudiadas, se representaron gráficamente por medio de una rosa de los vientos. El software utilizado para la generación de la rosa de los vientos fue WRPLOT View, el cual es un programa de libre distribución para Windows que representa rosas de los vientos de una determinada zona geográfica. Además, mediante el medidor Kestrel 4500 se conoció los valores de temperatura y humedad relativa en cada EDS.

7.3.4.2 Determinación de los COV's

El medidor/monitor de gas portátil utilizado en este estudio para evaluar las concentraciones de COV's (modelo HAL-HVX501) registra apenas los datos del compuesto isobutileno. Por

consiguiente, se hizo uso de factores de conversión previamente definidos por el fabricante e indicados en la **Tabla 6**. Aunque se pueden determinar gran variedad de compuestos, se tomó de acuerdo a la importancia y la generación de contaminantes de las EDS definidos por la literatura consultada.

Tabla 6.

Factor de conversión para cada gas.

Gas	Factor de conversión (RF)
Benceno	0,53
Tolueno	0,53
O-xileno	0,54
Etil-benceno	0,51

7.3.4.3 Tratamiento de variables

Para el análisis de los datos recolectados por los equipos durante los días de toma de datos se procedió a realizar un análisis descriptivo, donde con la ayuda de una tabla dinámica se determinó el promedio, el máximo, el mínimo y la desviación estándar de cada uno de los contaminantes. Posteriormente, se procedió a realizar la correlación de cada una de las variables monitoreadas siguiendo lo estipulado por los coeficientes de Spearman's rho. El coeficiente de correlación de Spearman, muestra la asociación entre variables ordinales que no se comportan normalmente. Es decir, los datos obtenidos en el estudio presentan un comportamiento con una distribución no normal, debida que la toma de datos se realizó en diferentes días y, por consiguiente, variables como; el número de vehículos, temperatura, dirección y velocidad del viento influyen en el comportamiento de las concentraciones de los COV's obtenidas. Del mismo

modo, se calcula en base a una serie de rangos asignados, donde los valores van de - 1 a 1, siendo 0 el valor que indica no correlación, y los signos indican correlación directa e inversa. Valores cercanos a -1 y 1 indican correlaciones altamente significativas.

8. Análisis de los Resultados

En las **Tablas 7-12** se denotan los máximos, mínimos, promedios y desviación estándar de las variables evaluadas en el presente estudio en las seis EDS. Donde se observa que el mínimo tiene valores de cero esto ocurre, porque durante la toma de datos había periodos donde no habían tanqueo de vehículos y por consiguiente no se presentaban concentraciones de los contaminantes, entendiéndose que las concentraciones máximas se dieron en los procesos de abastecimiento de combustible a los vehículos, obteniendo como resultado que la **EDS 2 y 3** presentaron las mayores concentraciones de BTEX y del mismo modo, las concentración más baja se presentaron la **EDS 6**.

Por otro lado, las desviaciones estándares presentaron valores altos, esto se debe a varios factores. El primero se da porque el periodo de tanqueo no es continuo y, por consiguiente, hay tiempos sin concentraciones. Como segundo se tiene la influencia de los parámetros meteorológicos que actúan en la dispersión del contaminante y el periodo de toma de muestra era cada minuto, todos estos factores generaron fluctuaciones y como resultado se presenta una alta desviación estándar.

Tabla 7.

Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 1.

Variables	Numero de datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Isobutileno	235	0,0	298.987	15.700	43.791
Benceno	235	0,0	220.610	11.823	32.898
Tolueno	235	0,0	260.236	13.947	38.807
Xileno	235	0,0	282.862	15.159	42.181
Etilbenceno	235	0,0	288.546	15.464	43.028

# de vehículos	235	0	7	0,89	1,32
Temperatura	235	26,9	34,8	29	1,5
Presión	235	29,5	29,7	29	0,06
Dir. Viento	235	0	359	139	114
Vel. Viento	235	0,0	4,9	1,02	0,79
Humedad	235	65,2	84	79,7	4,4
Datos validos	235				

Nota: variables de la EDS 1 durante la toma de datos.

Tabla 8.

Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 2.

Variables	Numero de datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Isobutileno	230	0,0	506.465	40.211	44.220
Benceno	230	0,0	373.699	29.670	33.221
Tolueno	230	0,0	440.823	35.000	39.188
Xileno	230	0,0	479.149	38.043	42.595
Etilbenceno	230	0,0	488.778	38.807	43.451
# de vehículos	230	0,0	6	1,50	1,4
Temperatura	230	26,0	33,8	29,3	2,2
Presión	230	29,59	73,80	34,6	13,4
Dir. Viento	230	4	357	101	78
Vel. Viento	230	0,0	5,7	1,60	1,0
Humedad	230	29,6	89,2	72,7	17,3
Datos validos	230				

Nota: variables de la EDS 2 durante la toma de datos.

Tabla 9.***Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 3.***

Variables	Numero de datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Isobutileno	231	0,0	347.093	29.377	70.524
Benceno	231	0,0	271.378	24.497	59.627
Tolueno	231	0,0	302.107	25.678	61.414
Xileno	231	0,0	589.426	29.089	74.137
Etilbenceno	231	0,0	334.972	28.471	68.095
# de vehículos	231	0	7	1,2	1,7
Temperatura	231	25,7	35,9	28,3	2,4
Presión	231	29,4	29,7	29,6	0,10
Dir. Viento	231	0	358	91	84
Vel. Viento	231	0,0	7,2	1,6	1,4
Humedad	231	61,4	87,4	78,7	6,2
Datos validos	231				

Nota: variables de la EDS 3 durante la toma de datos.

Tabla 10.***Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 4.***

Variables	Numero de datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Isobutileno	232	0,0	295.684	8.796	34.346
Benceno	232	0,0	248.609	7.593	29.935
Tolueno	232	0,0	276.664	8.800	34.531
Xileno	232	0,0	325.136	9.795	38.690
Etilbenceno	232	0,0	548.321	11.990	51.656
# de vehículos	232	0	5	0,6	1,2
Temperatura	232	26,3	35,0	30,2	2,3
Presión	232	29,6	29,7	29,6	,05
Dir. Viento	232	0	357	101	108
Vel. Viento	232	0,0	3,4	1,0	0,8
Humedad	232	28,3	87,7	68,2	15,8

Datos validos 232

Nota: variables de la EDS 4 durante la toma de datos.

Tabla 11.

Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 5.

Variables	Numero de datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Isobutileno	227	0,0	486.801	21.266	66.103
Benceno	227	0,0	359.190	15.691	48.774
Tolueno	227	0,0	423.708	18.510	57.535
Xileno	227	0,0	460.546	20.119	62.537
Etilbenceno	227	0,0	469.801	20.524	63.794
# de vehículos	227	0	7	0,6	1,2
Temperatura	227	26,6	33,8	28,6	1,4
Presión	227	29,4	29,7	29,6	0,08
Dir. Viento	227	6	345	163	98
Vel. Viento	227	0,0	2,6	0,77	0,64
Humedad	227	63,7	84,9	76,4	5,2
Datos validos	227				

Nota: variables de la EDS 5 durante la toma de datos.

Tabla 12.

Máximo, mínimos, promedio y desviación estándar de las variables evaluadas en la EDS 6.

Variables	Numero de datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Isobutileno	227	0,00	233.637	10.187	30.386
Benceno	227	0,00	172.391	7.516	22.420
Tolueno	227	0,00	203.356	8.867	26.448
Xileno	227	0,00	221.036	9.638	28.747
Etilbenceno	227	0,00	225.478	9.831	29.325
# de vehículos	227	0	8	0,81	1,4

Temperatura	227	26,1	33,5	28,7	1,6
Presión	227	29,5	29,75	29,6	0,04
Dir. Viento	227	5	398	183	106
Vel. Viento	227	0,0	87,0	11,2	28,0
Humedad	227	65,0	86,0	77,8	6,0
Datos validos	227				

Nota: variables de la EDS 6 durante la toma de datos.

Cabe resaltar que cuando se miden promedios de contaminantes atmosféricos a lo largo de varios meses, algunos de estos COV's son conocidos por su carácter tóxico y/o carcinógeno. Las necesidades de vigilancia y evaluación de la calidad del aire ambiente, propician que los sistemas automáticos de medida de precursores, puedan atender a la vigilancia de algunos COV's tóxicos. La disponibilidad de los datos de concentración ambiente de dichos contaminantes atmosféricos es esencial para cualquier evaluación de riesgo.

Para comprender mejor las variaciones en las concentraciones de los COV's evaluados, se generó una categorización de las concentraciones en escalas de colores. A continuación, en la tabla 13 están indicados los rangos de las concentraciones para cada categoría. Esta información igualmente está representada en las **Figuras 19-22** para visualmente verificar el comportamiento de la concentración de los compuestos evaluados en cada una de las EDS consideradas en el presente estudio.

Tabla 13.*Categorización de concentración de COV's en las EDS.*

Color	Rango de concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Verde	0-7.000
Azul	7.001-8.000
Amarillo	8.001-9.000
Naranja	10.000-18.000
Rojo	>20.000

Nota: la tabla 13 muestra los intervalos de las concentraciones, con una escala de 0 a 20.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Del mismo modo, en la **Tabla 14** se evidencia las concentraciones promedias de los COV's medidos en cada EDS evaluada. Las concentraciones están asignadas con los colores establecidos en la **Tabla 13**.

Tabla 14.*Promedios de las concentraciones de los COV's medidos en el presente estudio.*

EDS	Isubutileno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tolueno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Xileno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etilbenceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
EDS 1	15.700	11.831	13.956	15.170	15.475
EDS 2	40.211	29.670	35.000	38.043	38.807
EDS 3	29.377	24.338	25.534	28.948	28.312
EDS 4	8796	7571	8776	9768	11.990
EDS 5	21.266	15.835	18.679	20.303	20.711
EDS 6	10.187	7622	8991	9773	12.518

Nota: la tabla 14 nos muestra las diferentes concentraciones presentadas en cada EDS.

De igual manera, a continuación, en las **Figuras 12-15**, se observan los diferentes mapas con las concentraciones de cada COV's en las seis EDS estudiadas.



Figura 12. Mapa de concentración de Isobutileno.

La **Figura 12**, muestra la concentración promedio del gas isobutileno en los seis puntos evaluados, donde según la tabla 8 de categorización de las concentraciones de los COV's, se puede decir que el color verde es el de menor concentración y el rojo el de mayor concentración. Las EDS 2, EDS 3 y EDS 5 son las que presentan mayores concentraciones, lo que se debe al mayor número de vehículos que realizaron el proceso de tanqueo en esas EDS.



Figura 13. Mapa de concentración de Benceno.

La **Figura 13**, se puede observar las concentraciones promedio del benceno en las seis EDS, donde los puntos que presenta mayor concentraciones de Benceno son las EDS 2, EDS 3 y EDS 5 representado con el color rojo. En efecto, arrojando concentraciones mayores a $20.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual manera, se aprecia que la EDS 1 esta representanda con el color naranja, presentando una concentración que va desde 10.000 - $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la EDS 6 con una tonalidad azul presenta concentraciones de 7.001 - $8.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y las EDS 6 con tonalidad amarilla, presenta una concentración que se encuentra entre 8.001 - $9.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figura 14. Mapa de concentración de Tolueno.

La **Figura 14**, muestra las concentraciones promedio del gas tolueno en las seis EDS, donde las mayores concentraciones fueron en EDS 2 y EDS 3, arrojando concentraciones que superiores a $20.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se visualiza en el mapa colores que van de naranja y amarillo para las EDS 1, EDS 4, EDS 5 Y EDS 6, obteniendo concentraciones en los rangos de 8.001 - 9.000 y 10.000 - $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Otro análisis que se desarrolló con las concentraciones de los COV's evaluados fue la comparación entre los niveles observados para los diferentes períodos de muestreo (mañana o tarde). A continuación, en el Gráfico 17 se aprecia las concentraciones de los diferentes COV's en cada una de las EDS por período.

El figura 17 presenta las diferentes concentraciones de los BTEX, como benceno, tolueno, xileno y etilbenceno en las seis EDS tanto por la mañana como por la tarde.

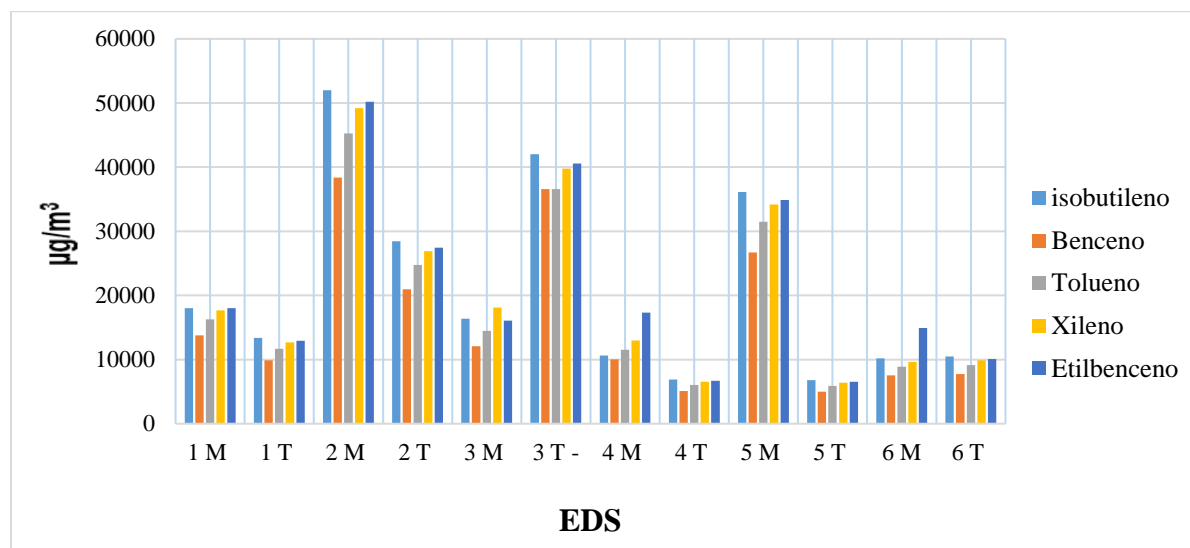


Figura 16. Concentración promedio de los COV's en las seis EDS.

Las Figura 17 muestran el comportamiento de los COV's emitidos al momento de brindar el servicio de llenado a los vehículos en las seis EDS en horas de la mañana y en horas de la tarde. Como se puede observar, en las horas de la mañana hay mayor concentración de BTEX (Benceno, Tolueno, Xileno, Etilbenceno). Al respecto, este comportamiento en las EDS posiblemente es debido a que en las primeras horas de la mañana hay poca presencia de viento y el número de vehículos abasteciéndose de combustible es mayor, entendiéndose que, a mayor número de tanqueo de vehículos, mayor será la emisión de los COV's en el ambiente. En este caso es necesario decir que Rattanajongjitrakorna et al. (2014) mencionan que gran cantidad de consumo de gasolina puede causar una enorme emisión de algunos COV's. Donde los COV's prominentes de la gasolina son BTEX, que son los compuestos principales que afectan a la salud humana. Del mismo modo, Bikbajeva et al. (2008) menciona que las condiciones meteorológicas en Vilnius como la precipitación, el viento, etc. pueden influir en las bajas concentraciones de

COV's en las EDS. Además, Kuen et al. (1999) en un estudio desarrollado en Korea admitió que las concentraciones al aire libre son más altas durante el día que en la noche.

Por otra parte, la EDS 3 presentó un comportamiento diferente a las demás EDS estudiadas, donde las concentraciones de los COV's fueron mayores en horas de la tarde para esta EDS. En este caso es necesario decir, que este fenómeno se pudo haber dado por varios factores, como el número de vehículos, el cual fue mayor por la tarde que en la mañana para esta EDS, segundo por la posición y relieve del terreno. Igualmente, la dirección del viento y la posición del vehículo durante el proceso de tanqueo, posiblemente actuando como barrera con respecto a la dispersión de los COV's, pueden generar una interferencia en el registro de los datos.

Para lograr comprender los procesos de formación y dispersión de los COV's evaluados, se realizó un análisis de correlación de Spearman, indicado en la **Tabla 15**, entre las variables monitoreadas en el presente estudio.

Tabla 15.

Correlación de Spearman de las concentraciones de los COV's y los parámetros meteorológicos.

EDS	Compuestos medidos	# de vehículos	Temperatura	Presión	Dir. Viento	Vel. Viento	Humedad relativa
EDS 1	COV's	,829**	,066	,118	-,058	-,069	,043
EDS 2	COV's	,108	,011	,075	-,086	-,121	,039
EDS 3	COV's	,897**	-,063	-,118	,072	-,034	,004
EDS 4	COV's	,899**	-,094	-,093	,025	,037	-,076
EDS 5	COV's	,886**	-,037	,003	-,011	,056	-,204**
EDS 6	COV's	,947**	-,017	-,057	,143*	,048	,054

Nota: La tabla 15 muestra correlación de las variables monitoreadas en las seis EDS. Con asteriscos están asignadas las correlaciones estadísticamente significativas. * La correlación es significativa en el nivel 0.05 ** La correlación es significativa en el nivel 0.01

La **Tabla 15** muestra la correlación de cada uno de los parámetros meteorológicos con respecto a las concentraciones de COV's en cada EDS evaluada, en donde se puede observar que la variable que más influyó en las concentraciones de los COV's es el número de vehículos. Toro et al., (2010) afirman que, durante la recarga de los vehículos, las emisiones de combustible escapan directamente a la atmósfera, además se producen derrames cuando se sobrecarga el tanque de combustible y ocurren goteos de las pistolas del dispensador. En este caso es necesario decir, que las altas concentraciones de los COV's se relacionan con la demanda de combustible en los tiempos de tomas de datos y a la fácil emisión de estos gases durante el proceso de llenado del tanque del vehículo, entendiéndose, que a mayor demanda de combustible mayor será la liberación de COV's en el ambiente. Sin embargo, a excepción de la EDS 2 que presenta un comportamiento diferente a las demás EDS, en donde posiblemente los factores que influyen en las concentraciones obtenidas son la dirección y velocidad del viento y la barrera del automóvil durante el proceso de llenado. Por ejemplo, en esta EDS 2 es donde se observa la mayor influencia de la velocidad del viento, ya que presenta una mayor correlación con las concentraciones de COV's que en las demás EDS. Asimismo, como se evidencia en la **Tabla 15**, los parámetros como; temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, dirección y velocidad del viento no tienen una influencia y una relación representativa en las concentraciones de los COV's observadas.

Para mejor comprender como el viento actúa sobre los procesos de dispersión a las concentraciones de los COV's, se desarrollaron rosas de los vientos que representan gráficamente las velocidades y direcciones predominantes. Esta información está presentada en las **Figuras 18-23**.

Para la EDS 1, se observa en la Figura 18 que la dirección predominante del viento se presentó proveniente del sentido Nor-Este durante los días de toma de datos. En esta dirección se presentó vientos con velocidades predominantemente entre 0,5 m/s y 2,1 m/s, además se registran datos promedio de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de 23,5 °C, 29,7 inHg y 79,7 % respectivamente.

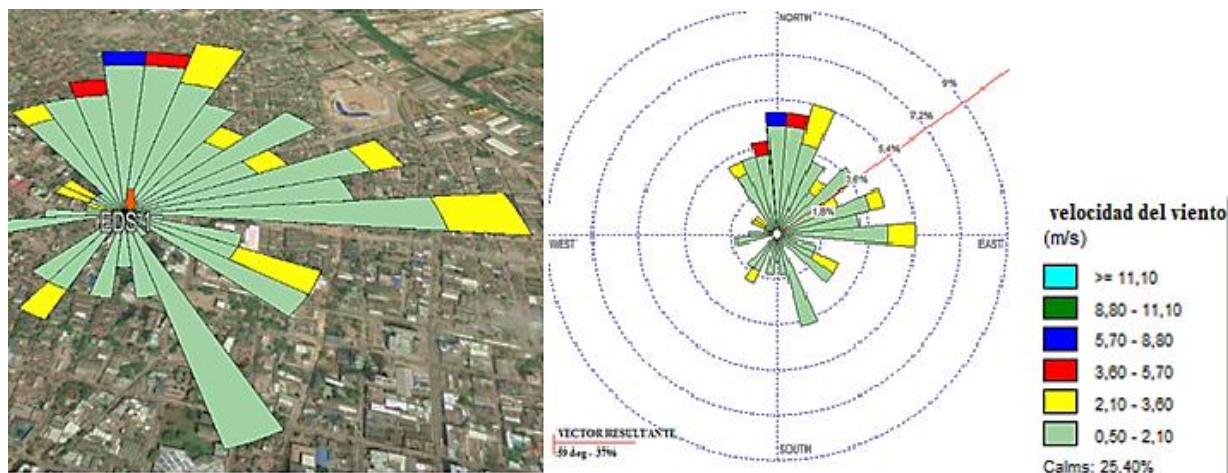


Figura 17. Rosa de los vientos de la EDS 1, tomado de WRPLOT Vieuw 2018.

Se observa en la Figura 19 que para la EDS 2 la dirección predominante del viento se presentó proveniente del sentido Nor-Este durante los días de toma de datos. En esta dirección se presentaron vientos con velocidades predominantemente entre 0,5 m/s y 2,1 m/s, además se registran datos promedio de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de 29,3 °C, 29,7 inHg y 77,7 % respectivamente.

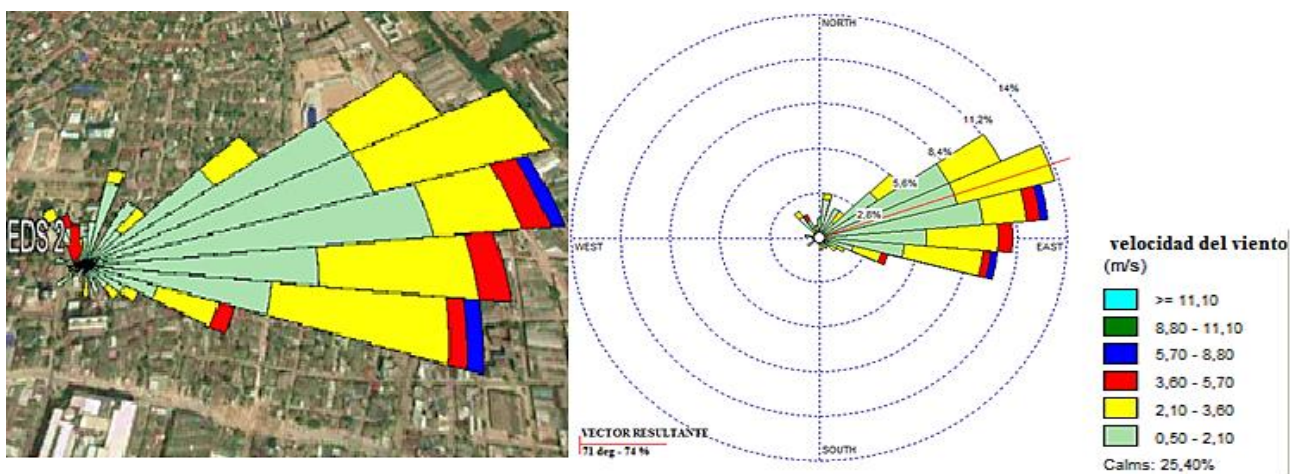


Figura 18. Rosa de los vientos de la EDS 2, tomado de WRPLOT Vieww 2018.

Para la EDS 3 se observa en la Figura 20 que la dirección predominante del viento se presentó proveniente del sentido Nor-Este durante los días de toma datos. En esta dirección se presentó vientos con velocidades predominantemente entre 0,5 m/s y 2,1 m/s, además se registran datos promedio de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de 29,7 °C, 29,6 inHg y 78,7% respectivamente.

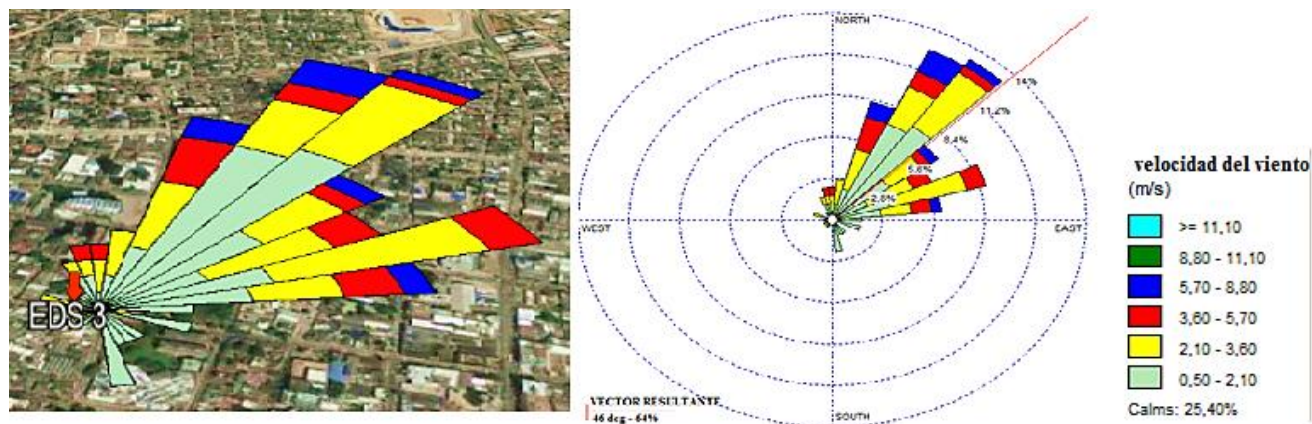


Figura 19. Rosa de los vientos para la EDS 3, tomada WRPLOT View 2018.

Se observa en la Figura 21 que para la EDS 4 la dirección predominante del viento se presentó proveniente del sentido Nor-Este durante los días de toma de datos. En esta dirección se

presentó vientos con velocidades predominantemente entre 0,5 m/s y 2,1 m/s, además se registran datos promedio de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de 29,6 °C, 29,7 inHg y 68,3 % respectivamente.

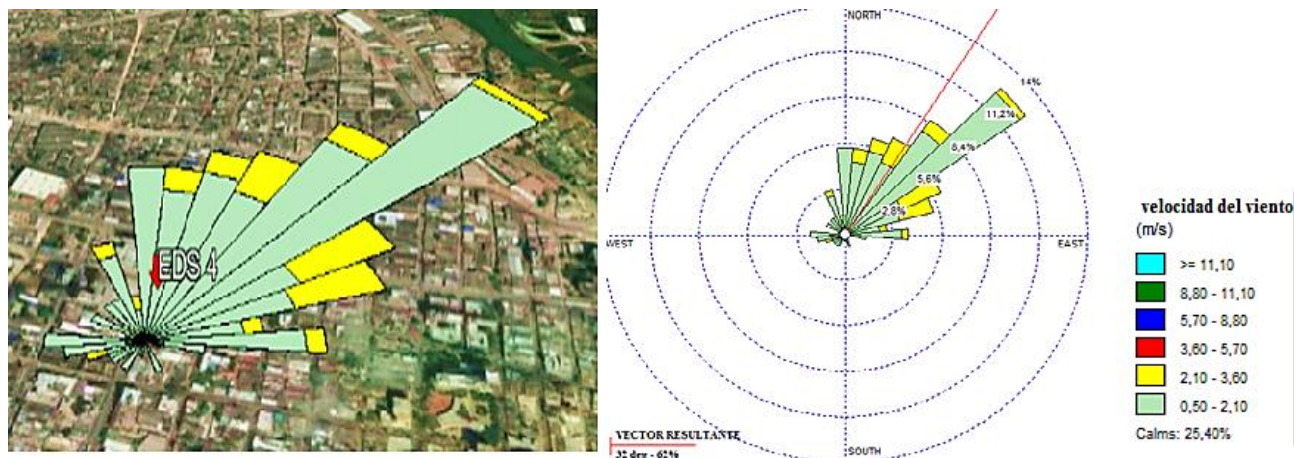
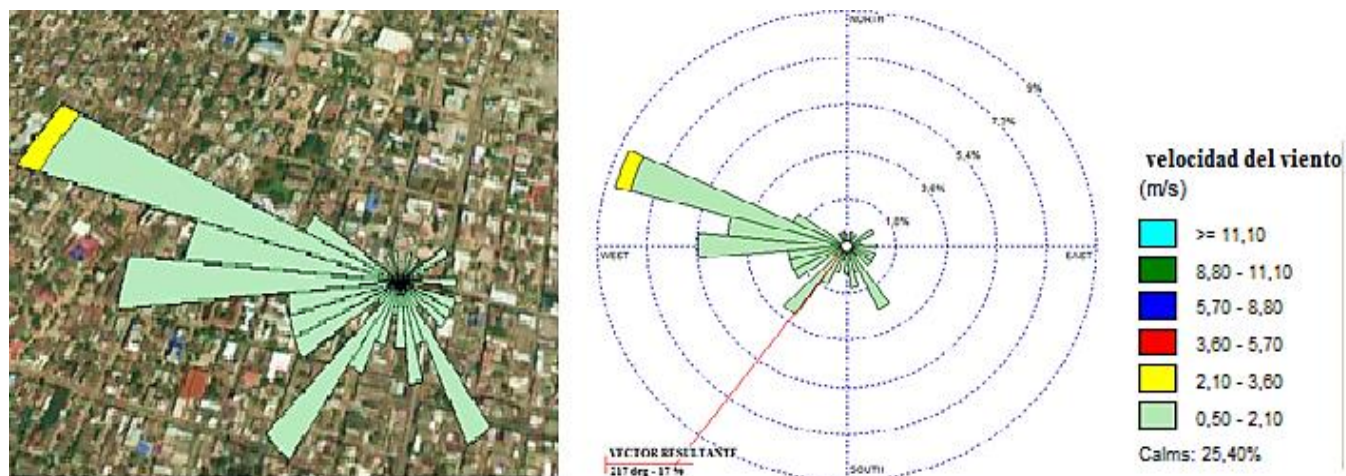
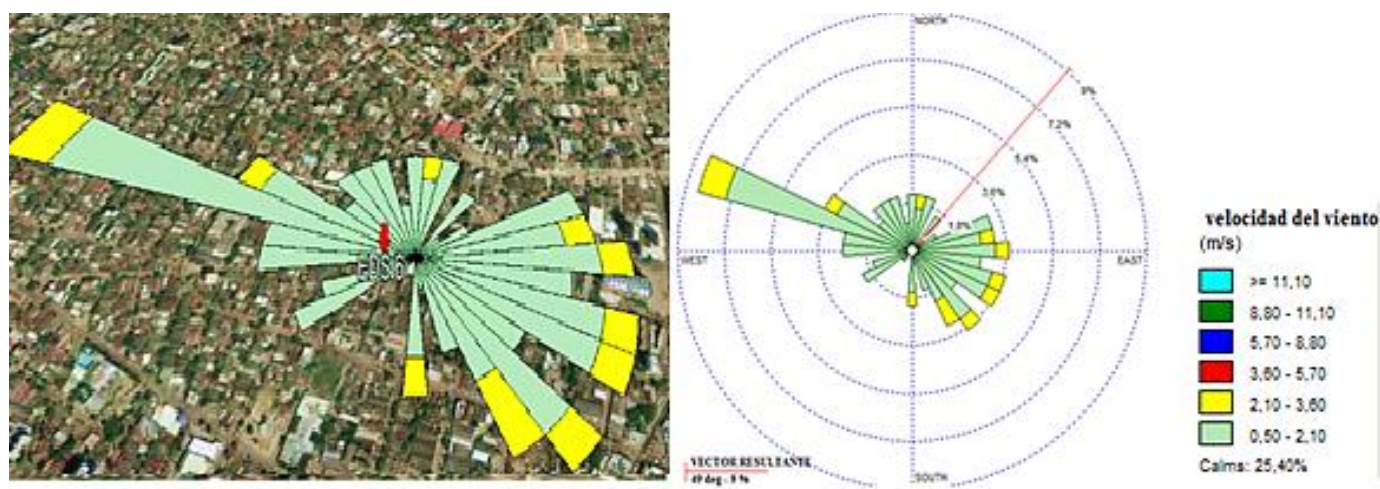


Figura 20. Rosa de los vientos para la EDS 4, tomada WRPLOT View 2018.

Se observa en la Figura 22 que para la EDS 5 la dirección predominante del viento se presentó proveniente del sentido Nor-Oeste durante los días de toma de datos. En esta dirección se presentó vientos con velocidades predominantemente entre 0,5 m/s y 2,1 m/s, además se registran datos promedio de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de 29,1 °C, 29,6 inHg y 76,5 % respectivamente. Como se puede observar, es la única EDS que presento direcciones de los vientos distintos a los demás puntos de muestro. Esto se debe probablemente a que la ubicación del equipo no permitió una toma de datos veraz para este parámetro, ya que alrededor del equipo había barreras de construcciones, además las políticas de la EDS no permitieron una mejor ubicación.



Para la EDS 6 se observa en la Figura 23 que la dirección predominante del viento se presentó proveniente del sentido Nor-Oeste durante los días de toma de datos. En esta dirección se presentó vientos con velocidades predominantemente entre 0,5 m/s y 2,1 m/s, además se registran datos promedio de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de 29,2 °C, 29,6 inHg y 77,8 % respectivamente.



La tabla 16 muestra la comparación de los resultados de las EDS estudiadas en la ciudad de Barranquilla, con estudios desarrollados en otras partes del mundo. Además de evidenciar los resultados, presenta las metodologías empleadas en la medición de los BTEX y el tiempo de muestreo utilizada en cada estudio.

Tabla 16.

Comparación de las concentraciones de los BTEX evaluados en el presente estudio con otras investigaciones.

Lugar de Estudio	Benceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tolueno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Xileno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Etilbenceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Metodología	Tiempo de monitoreo	Referencia
EDS 1 Barranquilla	11.831	13.956	15.170	15.475			
EDS 2 Barranquilla	29.670	35.000	38.043	38.807			
EDS 3 Barranquilla	24.338	25.534	28.948	28.312			
EDS 4 Barranquilla	7.571	8.776	9.768	11.990	Equipo automático Medidor HAL- HVX501 medidor de COV's	30 minutos	Este estudio
EDS 5 Barranquilla	15.835	18.679	20.303	20.711			
EDS 6 Barranquilla	7.622	8.991	9.773	12.518			
Bangkok, Tailandia	589,91	1,694	409,79	96,74	Tubos de vidrio de carbón, Cromatografía de gases.	16 horas	Rattanajongjitrakorna et al. (2014)
Johannesburgo, Sudáfrica	313,16	188.43	850.97	63,72	Tubo de vidrio, Cromatografía de gases Syntech Spectras 955, detector de foto- ionización (PID)	24 h, durante un periodo de 3 meses	Molla et al. (2015)
Tehran, Irán	2788	9407	1134	781	Muestreador personal, tubos sorbentes, Cromatografía de gases	8 horas por día para un periodo de 30 días.	Heibati et al. (2017)

					(GC), detector de ionización de llama (FID).		
Río de Janeiro, Brasil	29,7	47,7	46,9	23,3	Cartuchos de carbón activado, GC-MS, modelo de dispersión de pluma gaussiana para saber la	20 minutos	Correa et al. (2012)
Vilnius, Lituania	0,01164	0,01486	0,01351	0,02922	Aspiración de volumen de aire en una pipeta de vidrio de gas, cromatógrafo de gases (GC, con una llama detector de ionización incorporado con generador de hidrógeno.	1 hora	Bikbajeva et al. (2008)
Chonburi, Tailandia	0,8764	0,13058	0,2086	0,044	Tubotipo de muestra difusiva, embalado con carbón pack B, cromatografía de gases	8 horas	Yimrungruang et al. (2008)
Kolkata, India	253,3	210,4	68,2	209,7	Tubo sorbente de carbón, analizado por cromatografía de Gases.	110 h.(para un turno de trabajo completo de 8 h)	Majumdar et al. (2008)
Buk Gu, Corea	18,3	69,1	15,5	8,9	Trampa Tenax TA acoplando un sistema de desorción térmica y analizada por cromatografía de gases	24 horas	Kuen et al. (1999)

Como se puede ver en la **Tabla 16**, las concentraciones de los COV's observadas en este estudio son bastante superiores a las encontradas en estudios previos de diferentes partes del mundo. Entre los factores que posiblemente influyen en las altas concentraciones de COV's encontradas en el presente estudio son el número de vehículos, dirección del viento, humedad y topografía del terreno en algunas de las EDS estudiadas. Por otra parte, el estudio de; Rattanajongjitrakorna et al. (2014) en Bangkok, concluye que los BTEX totales en el punto central de la EDS son 12,8 y 22,9 veces más altos que los de la carretera y la parte trasera de la estación de servicio, respectivamente y establece que la temperatura y la humedad son variables meteorológicas posibles que afectan las concentraciones de BTEX. Del mismo modo, Bikbajeva et al., (2008) en Vilnius mencionan que cerca del punto de llenado y junto con el reabastecimiento de combustible del automóvil se presentan la evaporación de COV's y concluyen que bajo condiciones meteorológicas como la precipitación, el viento, etc. pueden tener una influencia en las bajas concentraciones de COV's en la EDS. También, Kuen et al. (1999) en Corea admitió que las concentraciones al aire libre son más altas durante el día que en la noche.

A continuación, la tabla 17 muestra los límites permisibles establecidos por diferentes organizaciones internacionales y nacionales sobre los BTEX (Benceno, tolueno, xileno y etilbenceno), además evidencia los resultados de los BTEX en las EDS evaluadas en el presente estudio. Por otra parte, realizando la comparación de las concentraciones obtenidas en el presente estudio con respecto a los límites permisibles establecido por organizaciones internacionales se tiene que:

Tabla 17.

Comparación de los límites permisibles por organizaciones internacionales y normas nacionales con las concentraciones de los BTEX evaluados en el presente estudio.

Organización	Benceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tolueno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Xileno $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Etilbenceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Instituto Nacional de Salud Ocupacional y de Seguridad [NIOSH]	3.190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a	377 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a		377 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a
La Directiva 97/42/CE, modificación de la 90/394/CEE.	9.560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a			
Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIH]	1.600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^b	191.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a	442.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a	
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] Resolución 2254	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^c	1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d		
Organización Mundial de la Salud [OMS]	5- 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^c	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	1-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^c
Directiva Europea de Calidad del Aire (2000/69/CE). RD 1073/2002 (España)	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^c			
Fundación Alemana de Investigación Científica [DFG]		190.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a	440.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^e	
Real Decreto 1124/2000 y Directiva Europea 2000/39/CE		50.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a	958.960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a	

**Instituto Nacional de
Seguridad e Higiene en el
Trabajo. Madrid
[INSHT]**

191.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a

221.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^e

884.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^f

**Administración de
Seguridad y Salud
Ocupacional
[OSHA]**

435.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a

EDS 1 Barranquilla	11.831 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g	13.956 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g	15.170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g	15.475 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g
EDS 2 Barranquilla	29.670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g	35.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g	38.043 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g	38.807 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^g
EDS 3 Barranquilla	24.338 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	25.534 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	28.948 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	28.312 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d
EDS 4 Barranquilla	7.571 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	8.776 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	9.768 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	11.990 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d
EDS 5 Barranquilla	15.835 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	18.679 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	20.303 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	20.711 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d
EDS 6 Barranquilla	7.622 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	8.991 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	9.773 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d	12.518 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^d

Nota: ^a comprende a 8 horas; ^b comprende a 40 h/semana; ^c 1 año; ^d comprende a 30 minutos; ^e comprende a 15 minutos; ^f comprende a corta duración;

Como se puede ver en la **Tabla 17**, todos los valores promedios de Benceno, Tolueno, Xileno y etilbenceno obtenidos en las seis EDS estudiadas sobrepasan los umbrales permitidos por estas organizaciones y como resultado se puede decir que existe un posible riesgo en la salud de los trabajadores expuestos en las EDS estudiadas. Sabiendo que estos compuestos en concentraciones elevadas y con un tiempo de exposición prolongado pueden producir enfermedades crónicas como el cáncer y leucemia a largo plazo, especialmente el benceno y tolueno por su alta toxicidad.

Otra forma de contribuir a lo anterior, es que Heibati et al. (2017) en Irán destacan que la carga del petróleo, las bombas dispensadoras y las diferentes operaciones fueron los contribuyentes más fuertes de los BTEX. Además, eran la ocupación de mayor riesgo en estas instalaciones. De igual manera, Moolla et al., (2015) en una bahía de reabastecimiento de autobuses, en Johannesburgo, Sudáfrica. Establecen que las concentraciones de BTEX específicamente etilbenceno y p-xileno, durante el invierno, corresponden a la actividad en el sitio, donde las concentraciones de BTEX pueden ser elevado por derrames de combustible o al ralentí de los autobuses, liberando gases de escape, durante el reabastecimiento. Por otro lado, Correa et al. (2011) en Brasil encontraron que las concentraciones de aire ambiente de BTEX fueron mayores que los encontrados en el centro de la ciudad área de Río de Janeiro, incluso a 150 m de la estación de servicio, y concluyen que puede afectar a un hospital cercano, dos escuelas y varias residencias. Estos resultados indican que se debe prestar más atención a la ubicación de las estaciones de servicio. Del mismo modo, Yimrungruang et al., (2008) en Tailandia establecen que las emisiones de vapor de gasolina y los escapes de vehículos de motor, son las fuentes que generan un impacto significativo en la salud de los trabajadores

expuestos a niveles de COV's muy elevado. Igualmente, Majumdar et al., (2008) en Kolkata, India. Manifiestan que el escape COV's provenientes de la carretera y el reabastecimiento en las EDS son las principales fuentes de BTEX, indicando que concentraciones de $1,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ puede existir una probabilidad de padecer cáncer y efectos crónicos en la salud de los trabajadores expuesto. Al respecto, Karakitsios et al. (2007) en Grecia, indicaron que las personas en las cercanías de las gasolineras tienen un mayor riesgo de cáncer del 3 al 21%. Al mismo tiempo, Roa et al, (2008). Señala que los niveles considerados como inmediatamente dañinos son de $18.739 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en adelante, una concentración de $62.465 \mu\text{g}/\text{m}^3$ produce la muerte de un individuo en una hora.

9. Conclusión

Ante los resultados encontrados, a partir del estudio realizado, se evidencia que las EDS son una fuente importante de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) en una ciudad como Barranquilla, contribuyendo a la contaminación atmosférica. Además, se puede mencionar que las concentraciones encontradas pueden ser fuentes de posibles efectos nocivos en las personas que laboran en estas EDS.

Las concentraciones de los COV's, especialmente los BTEX (Benceno, Tolueno, Xileno y etilbenceno) registradas durante la jornada de la mañana en las mayorías de las EDS evaluadas son mayores que por la tarde, donde se obtienen concentraciones que van de $7.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $40.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En efecto, se puede decir que estos resultados obtenidos están influenciados y relacionados directamente con el número de vehículos abasteciéndose en la jornada de la mañana, asimismo, la dirección del viento y la topografía del terreno de algunas EDS son factores que influyen en estos resultados.

Por otra parte, se encontraron que todas las concentraciones de los BTEX medidos como Benceno, Tolueno, Xileno y Etilbenceno en las seis EDS estudiadas son superiores a los límites máximos permisibles establecidos por diferentes organizaciones internacionales y nacionales como: el Instituto Nacional de Salud Ocupacional y de Seguridad [NIOSH], la Comunidad Europea, la Organización Mundial de la Salud [WHO], el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], en la Resolución 2254, la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIH], etc. A este respecto, las implicaciones en la salud de los trabajadores de estas EDS serían adversas, por lo que se conoce que estos compuestos tienen la capacidad de generar algunas enfermedades respiratorias y producir cáncer a largo plazo.

Finalmente, conociendo estos resultados de los COV's, especialmente los BTEX en seis EDS de la ciudad de Barranquilla y con referencia de que en Colombia son pocos los estudios que dan razón sobre la presencia de BTEX presentes en el aire, se concluye que este estudio de interés académico, sirva como base principal para profundizar sobre la contaminación de BTEX en estaciones de servicio en zonas urbanas, y la relación de las implicaciones que tienen estos compuestos en la salud de las personas expuestas. Además, de la importancia que tiene esta información para el diseño e implementación de medidas o políticas por parte de las autoridades competentes sobre calidad del aire en la ciudad.

10. Recomendaciones

A partir de las conclusiones extraídas de este estudio se plantea una serie de recomendaciones para mejorar la calidad del aire urbano y reducir la exposición de los trabajadores.

Se propone y se sugiere a la Autoridad Ambiental del distrito como es (Barranquilla Verde) que estudie las emisiones de COV's, especialmente el benceno, tolueno, xilenos y etilbenceno durante las 6 y las 12 de la mañana los días laborables, debido que en el presente estudio se comprobó que en estas horas se da la mayor concentración de estos BTEX.

Las EDS que dentro de sus servicios tengan cafetería deben tener en cuenta que los COV's son llevados hasta el cuerpo humano a través del aire, del agua o de los alimentos, por lo tanto, es recomendable que la zona de cafetería se aleje del sitio de tanqueo y retanqueo de los tanques matriz, para evitar que los alimentos se contaminen.

Es recomendable establecer un sistema de control y vigilancia para el manejo y uso de los elementos de protección personal, como filtros, guantes, puesto que no todos los utilizan exponiéndose a inhalaciones de COV's, por la vía oral, nasal y cutánea.

Teniendo en cuenta que gases como benceno y tolueno puede producir enfermedades como cáncer, leucemia o enfermedades respiratorias a largo plazo, se recomienda realizar chequeos médicos a los trabajadores más antiguos expuestos a los COV's en las EDS, para conocer su estado de salud y poder prevenir los riesgos de padecer enfermedades crónicas e incluso la muerte.

Sabiendo que el proceso de llenado es el que más genera emisión de COV's, se recomienda a las EDS para la protección de sus trabajadores la adquisición de equipos tecnológicos que recuperen los gases emitidos durante el proceso.

11. Referencias

- Acevedo, J. (2006) evaluación del riesgo a la salud humana asociada a la exposición de BTEX en gasolineras de Quito (Tesis de maestría). Universitaria de San Francisco, Quito, Ecuador.
- Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) 2017. *Identificación de las sustancias*. Recuperado de <https://echa.europa.eu/es/regulations/reach/substance-identity>.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016) *Resúmenes de Salud Pública - Xileno (Xylene)*. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs71.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2007. *Reseña toxicológica del xileno (versión para comentario público)* (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperada https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs71.html.
- Bikbajeva, Ž. (2008). Research of VOCs from petrol filling stations. *Department of Environment Protection, Vilnius Gediminas Technical University*, 11, 447–455.
- Cárdenas, D. (2009). *Evaluación de calidad del aire, Compuestos Orgánicos Volátiles-VOC's, en zona aledaña del Instituto Colombiano del Petróleo-ECOPETROL S.A.* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/511/digital_17639.pdf?sequence=1
- Comisión Nacional del Medio Ambiente-Región Metropolitana. (1999). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/solventes.pdf>
- Correa, S., Arbilla, G., Marques, M., y Oliveira, K. (2012). The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. *Atmospheric Pollution Research*, 3(2), 163–169.
- Costa, I. (2005). *Estudio de la concentración de compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y ozono en el núcleo urbano de la ciudad de Cartagena y evaluación de la exposición de la población*. (Tesis doctoral). Recuperado de <https://digitum.um.es/xmlui/handle/10201/48341>
- Dehghania, M., Fazlzadehb, M., Sorooshianc, A., Reza, H., Mirif, M., Baghania, A.,... Rashidia, M. (2018). Characteristics and health effects of BTEX in a hot spot for urban pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155, 133–143.
- Evequoz, O., Sbarato, D., Koroch, A., Rivarola, E., Sbarato, V., Ortega, J., Salort, M., y Campos, M. (2000). Pérdidas evaporativas por almacenamiento y distribución de combustibles en estaciones de servicio. Análisis de su problemática y propuesta de marco regulatorio local. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper27.pdf>

- Gallego, M. L. (2014). *Desarrollo de una metodología de muestreo y análisis mediante captadores pasivos y cromatografía gaseosa para determinar contaminantes hidrocarburos (BTEX) en aire*. (Tesis de maestría). Recuperado de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/3739/1/GallegoMary_2016_desarrollometodolog%C3%ADAmuestreo.pdf
- García, M., Arellano, E., Walter, L., Espejel, I., Villada, M., Aceves, P.,...Eaton, R. (2014). Emisión de BTEX por las gasolineras, proximidad geográfica y síntomas neurológicos en residentes de Ensenada, Baja California, México. *Ecorfan*, 15, 124–139.
- García, M., Arellano, M., Luis Walter Daessle, L., Villada, M., y Quintero M. (2015). Mapa Cualitativo para el Análisis de Riesgo por BTEX de la Ciudad de Ensenada, Baja California, México. *Salud Ambient*, 15 (1), 4-12.
- Gee, I., y Sollars, C. (1998). Ambient air levels of volatile organic compounds in Latin American and Asian cities. *Chemosphere*, 36 (11), 2497–2506.
- Goes, D. E. (2008). *Avaliação da cinética de biodegradação dos compostos tóxicos: benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno (btex) e fenol* (Tesis de maestría). Recuperado de http://www.unioeste.br/eq/peq/dissertacoes/turma1/daniela_estelita_goes_trigueros.pdf
- Gómez, C. (2005). *Evaluación de Compuestos Orgánicos Volátiles en emplazamientos urbanos, de fondo urbano e industriales de la CAPV*. Recuperado de http://www.euskadi.eus/contenidos/evento/contaminacion_atmosferica/eu_jornada/adjuntos/2-4.pdf
- Heibati, B., Godri, K., Karimic, A., Charatid, J., Ducatmane, A., Shokrzadehf, M., y Mohammadyan, M. (2017). BTEX exposure assessment and quantitative risk assessment among petroleum product distributors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 445–449.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT]. (2007). *Fichas Internacionales de Seguridad Química*. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0085.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid. *Evaluación de la exposición a benceno: control ambiental y biológico*. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_486.pdf
- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) (2003). *Límites de exposición estipulados por la NIOSH y la ACGIC*. Recuperado https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2013-150_sp/.
- Karakitsios, S., Delis., V., Kassomenos, P., y Pilidis, G. (2007). *Contribution to ambient benzene concentrations in the vicinity of petrol stations: Estimation of the associated health risk*. *Atmospheric Environment*, 41(9), 1889-1902.

- Kountouriotisa, A., Aleiferisa, P., y Charalambides, A. (2014). Numerical investigation of VOC levels in the area of petrol stations. *Science of The Total Environment*, 470(471), 1205–1224.
- Kuen, W., y Moon, K. (1999). Housewives' exposure to volatile organic compounds relative to proximity to roadside service stations. *Atmospheric Environment*, 33(18), 2921–2928.
- Liu, J., Mu, Y., Zhang, Y., Zhang, Z., Wang, X., Liu, Y., y Sun, Z. (2009). Atmospheric levels of BTEX compounds during the 2008 Olympic Games in the urban area of Beijing. *Science of the Total Environment*, 408, 109–116.
- M. Lacasaña, B. González, M. Rodríguez & A. Daponte, (2008): Evaluación de la exposición a BTEX en la población del Campo de Gibraltar p.10.
- Majumdar, D., Dutta, C., Mukherjee, A., y Sen, S. (2008). Source apportionment of VOCs at the petrol pumps in Kolkata, India; exposure of workers and assessment of associated health risk. *Transportation Research Part D*, 13, 524–530.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017) Resolución 2254, (1 de noviembre del 2017), Norma de calidad del aire.
- Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética, UPME (2015). *Proyección de demanda de combustibles en el sector transporte en Colombia*. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proyeccio%CC%81nDemandaL%C3%A9ndidos-Rev2016.pdf>
- Moolla, R., Curtis, C., y Knight, J. (2015). Assessment of occupational exposure to BTEX compounds at a bus diesel-refueling bay: A case study in Johannesburg, South Africa. *Science of The Total Environment*, 537, 51–57.
- Ngoc, T., y Anh, M. (2013). BTEX pollution caused by motorcycles in the megacity of HoChiMinh. *Journal of Environmental Sciences*, 25(2), 348–356.
- Petroquimex (2016). *Evaluación de Sistemas de Recuperación de Vapores en Estaciones de Servicio*. Recuperado de <https://petroquimex.com/imp-recuperacion-de-vapores-en-estaciones-de-servicio/>
- Rattanajongjitrakorna, P., y Prueksasit, T. (2014). Temporal Variation of BTEX at the Area of Petrol Station in Bangkok, Thailand. *APCBEE Procedia*, 10, 37 – 41.
- Roa, B. Roa, L. (2008). *Consecuencias en la salud de los trabajadores de la estación de servicio cootransganadera por la continua exposición a los vapores de la gasolina. (Tesis de pregrado)*. Recuperado de <https://contenidos.usco.edu.co/salud/images/documentos/grados/T.G.Salud-Ocupacional/49.T.G-Bibiana-Roa-Ramirez,-Leonardo-Roa-Ramirez-2008.pdf>
- Rosell, G., Jiménez, N., y Torrado, S. (2007). *Riesgos higiénicos de los trabajadores de estaciones de servicio*. Recuperado de

- <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/ntp%20775.pdf>
- Rubiano, C. M. (2013). *Un plan de gestión para la prevención y control de la contaminación del aire por BTX (Benceno, Tolueno, Xileno) en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. (Tesis de maestría). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/9931/>
- Sánchez, J., y Alcántara, A. (2007). *Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente*. Recuperado de <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/605/622>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2008). *Manual de buenas prácticas ambientales para la operación de una estación de servicio automotriz*. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988003/Manual+de+buenas+pr%C3%A1cticas+ambientales+para+la+operaci%C3%B3n+de+una+estaci%C3%B3n+de+servicio+automotriz.pdf>
- Srivastavaa, A., Joseph, A., y Devottab, S. (2006). Volatile organic compounds in ambient air of Mumbai, India. *Atmospheric Environment*, 40, 892– 903.
- Sutta, M.J. (2016). *Avaliação da degradação bacteriana do BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) na presença de MTBE (metil ter butil eter) e etanol*. (Tesis de maestría). Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/178317>
- Toro, M., Serna, J., Álvarez, N., Sánchez, C., Ospina, F., Quinceno, D., y Zapata, J. (2010). Evaluar los niveles de contaminación en las zonas urbanas del Valle de Aburrá. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/lsdocPlandedescontaminacion/Inventario%20de%20emisiones.pdf>
- Tsangari, X., Andrianou, X., Agapiou, A., Mochalski, P., y Makris, K. (2017). Spatial characteristics of urinary BTEX concentrations in the general population. *Chemosphere*, 173, 261–266.
- Vargas, Y., y Marrugo, J. (2014). Exposición a COV's en fábricas de muebles de dos poblaciones del norte de Colombia. *Salud pública*, 16 (6), 834–846.
- Yimrungruang, D., Cheevaporn, V., Boonphakdeeb, T., Watchalayann, P., y Helander, H. (2008). Characterization and health risk assessment of volatile organic compounds in gas service station workers. *EnvironmentAsia* 2, 21–29.
- Zhang, Y., Wang, X., Zhang, Z. Lü, S., Shao, M., Lee, F., y Yu, J. (2013). Species profiles and normalized reactivity of volatile organic compounds from gasoline evaporation in China. *Atmospheric Environment*, 79, 110–118.